
교통흐름 예측 결과를 적용한 동적 최단 경로 탐색

조미경*

A dynamic Shortest Path Finding with Forecasting Result of Traffic Flow

Mi-Gyung Cho**

본 논문은 동명대학교 SKTU 차세대통신기술연구소 학술연구비 지원(SKTU-07-006)과 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 대학IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음

요 약

텔레매틱스 서비스 중 가장 보편적으로 사용되는 것이 출발지에서 목적지까지의 최단 경로 안내 서비스이다. 본 논문에서는 미래 시간에 대한 교통흐름 예측 결과를 바탕으로 한 동적 최단 경로 탐색 시스템을 개발하고 실시간 교통정보를 이용한 다양한 실험을 수행하여 성능을 분석하였다. 교통흐름 예측은 베이저안 네트워크(Bayesian network)를 이용한 예측 시스템을 사용하였다. 동일한 출발지와 목적지에 대해 동적 최단 경로와 정적 및 누적 최단 경로를 탐색하고 각 경로에 대한 통행 시간을 계산하여 실제 최단 경로의 통행시간과 비교하였다. 실험 결과 75% 이상의 비율로 동적 최단 경로의 통행시간이 정적이나 누적 최단 경로의 통행시간보다 실제 최단 경로의 통행시간에 가깝게 나타났다. 따라서 중간 경유지에 도착 예정인 시간대의 교통 흐름을 예측하여 동적 최단 경로를 구하는 것이 출발시간의 교통흐름을 모든 구간에 적용하여 최단 경로를 구하는 정적 최단 경로에 비해 더 정확한 교통정보를 제공하여 텔레매틱스 서비스의 품질을 향상시킬 수 있음을 보여 주었다.

ABSTRACT

One of the most popular services of Telematics is a shortest path finding from a starting point to a destination. In this paper, a dynamic shortest path finding system with forecasting result of traffic flow in the future was developed and various experiments to verify the performance of our system using real-time traffic information has been conducted. Traffic forecasting has been done by a prediction system using Bayesian network. It searched a dynamic shortest path, a static shortest path and an accumulated shortest path for the same starting point and destination and calculated their travel time to compare with one of its real shortest path. From the experiment, over 75%, the travel time of dynamic shortest paths is the closest to one of their real shortest paths than one of static shortest paths and accumulated shortest paths. Therefore, it is proved that finding a dynamic shortest path by applying traffic flows in the future for intermediated intersections can give more accurate traffic information and improve the quality of services of Telematics than finding a static shortest path applying by traffic flows of the starting time for intermediated intersections.

키워드

동적최단경로, 교통흐름예측, 텔레매틱스, 지능형교통정보시스템, 정적최단경로

* 동명대학교 멀티미디어공학과

접수일자 2009. 02. 24

심사완료일자 2009. 03. 20

I. 서 론

텔레매틱스의 보급이 가속화되고 있는 상황에서 자동차 내비게이션의 사용은 이미 보편화되고 있다. 내비게이션 서비스 중에서 가장 많이 사용되는 것이 출발지에서 목적지까지의 최단 경로 안내 서비스이다. 출발지에서 목적지까지의 최단 경로는 세 가지 종류로 분류할 수 있는데 첫째 출발지부터 목적지까지의 거리에 대한 최단 경로, 둘째 시간에 대한 최단 경로, 셋째 사용자의 선택 사항 - 예를 들어, 고속도로를 피하거나 혹은 통행요금이 없는(toll free) 도로를 선택하는 등 -에 따른 최단 경로이다. 시간에 대한 최단 경로는 어떤 도로 네트워크 모델을 선택하는가에 따라 동적최단 경로(dynamic shortest path)와 정적 최단 경로(static shortest path)로 나눌 수 있다[1]. 대부분의 상용화된 자동차 내비게이션에서 사용되는 도로 네트워크 모델은 크게 시간독립 도로 네트워크(time-independent road network)와 시간종속 도로 네트워크(time-dependent road network)로 나눌 수 있으며 시간독립 도로 네트워크에서의 최단 경로를 정적 최단 경로라 하고 시간종속 도로 네트워크에서의 최단 경로를 동적최단 경로라고 한다.

시간 독립 도로 네트워크 모델은 시간이 흘러가도 각 도로들에 대한 차량의 통행량, 즉, 차량의 통행시간 혹은 차량의 평균 속도 등은 불변하다고 가정하고 최단 경로를 탐색한다. 예를 들어, 출발지를 출발할 시간의 각 도로에서의 차량의 평균 주행 속도가 주어지면 출발지에서 목적지까지의 시간에 대한 최단 경로는 주어진 시간을 이용하여 탐색하게 된다. 목적지까지의 여행시간이 세 시간 이상이라고 할 때 목적지까지 가기 위한 중간 지역의 도로들이나 목적지 부근의 도로들의 상태는 모두 출발할 시각에서의 교통정보를 이용하게 된다. 이 모델의 문제점은 시간이 흐름에 따라 도로의 사정이 달라질 수 있는데, 예를 들어 두 시간 이후 지나게 되는 중간 경유지의 한 도로에서 교통 혼잡이 발생하더라도 이러한 상황을 고려할 수 없으므로 구해진 최단 경로는 최적의 결과가 아닐 수 있다.

시간종속 도로 네트워크 모델은 시간독립 모델과는 달리 시간의 흐름에 따라 도로의 상황을 동적으로 반영하여 최단 경로를 탐색한다. 차량이 출발한 현재시간을 기준으로 몇 분후 혹은 몇 시간 후에 경유하게 될 중간 지역의 달라질 수 있는 도로의 상황을 반영하여 최단 경

로를 설정해야 하기 때문에 중간 경유지 도로 상황에 대한 예측이 필수적이다. 현재는 지능형 교통 시스템(ITS)의 구축으로 실시간 교통정보 수집이 가능해짐에 따라 현재 시각 각 도로의 교통정보를 실시간으로 제공할 뿐만 아니라 미래 시간에 대한 통행량, 통행 시간, 혼잡 여부 등에 대한 예측 정보를 제공하기 위한 연구가 최근 10년간 활발하게 이루어져 왔다[2-13].

본 논문에서는 시간종속 도로 네트워크 모델에서 실시간 교통 정보와 미래 시간에 대한 교통흐름 예측 정보를 기반으로 한 동적 최단 경로 탐색 시스템을 구현하고 다양한 실험을 통해 동적최단 경로 탐색의 정밀도를 분석하였다. 현재 상용화된 자동차 내비게이션들은 대부분 시간독립 도로네트워크와 시간종속 도로 네트워크에서 정적최단 경로를 탐색해 주고 있다. 본 논문에서는 동일한 출발지와 목적지에 대하여 동적최단 경로와 정적최단 경로를 구하여 실제 최단 경로와 비교해 봄으로써 자동차 내비게이션의 고품질화를 위해서는 동적최단 경로 탐색 서비스가 필요함을 보였다. 동적최단 경로 탐색에 요구되는 예측정보는 저자가 기 개발한 베이지안 네트워크를 이용한 예측 시스템을 사용하였다[3-4].

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 도로 네트워크 모델들에 대해 살펴보고 3장에서는 본 논문에서 사용하게 될 베이지안 네트워크를 이용한 예측 시스템에 대해 설명할 것이다. 그리고 4장에서는 동적최단 경로 탐색 시스템을 설명하고 5장에서 다양한 실험 결과를 통한 동적최단 경로의 성능을 보이고 6장에서 결론을 맺는다.

II. 도로 네트워크 모델

자동차 내비게이션에서 경로 탐색을 위해 사용하는 도로 네트워크 모델들은 크게 세 가지로 분류할 수 있다. 시간독립 도로 네트워크 모델, 시간종속 도로 네트워크 모델 그리고 확률적 시간 종속도로 네트워크 모델(stochastic time-dependent road network model)이다[1]. 도로 네트워크는 두 개의 정점(vertex) 사이에 여러 개의 간선(edge)을 가질 수 있는 다중 그래프(multi-graph)로 표현할 수 있다. 도로 네트워크에서 교차로(intersection)는 그래프의 정점으로, 교차로 사이의 도로는 간선으로 표현된다. 도로 네트워크에서는 일방통행이 있을 수 있는

므로 모든 간선들은 방향을 가지는 방향 그래프여야 하고 동일한 두 정점에 대해 두 개 이상의 간선이 존재할 수 있으므로 다중 그래프가 된다.

시간독립 도로 네트워크 모델을 설명하기 위해 먼저 몇 가지 용어를 정의하고자 한다. 다중 그래프 $G=(V, E)$ 는 정점들의 집합 $V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$ 과 간선들의 집합 $E = \{e_1, e_2, \dots, e_n\}$ 로 구성된다. 정점 v_i 와 v_j 사이의 간선 e 에 대해 $\delta_1(e) = v_i$ 로 $\delta_2(e) = v_j$ 로 정의한다. 다중 그래프에서 경로는 $p = \langle e_1, e_2, \dots, e_l \rangle$ 로 경로 p 에서 각 간선들은 $e_i \in E$ 와 $\delta_2(e_i) = \delta_1(e_{i+1})$ 을 만족하고 출발 정점은 $v_s = \delta_1(e_1)$ 을 도착 정점은 $v_d = \delta_2(e_l)$ 라고 하자. 경로 p 에서 경로 p 의 간선 집합을 $E(p) = \{e_1, e_2, \dots, e_l\}$ 로, 경로 p 의 정점들의 집합을 $V(p) = \{\delta_1(e_1), \dots, \delta_1(e_l)\} \cup \{\delta_2(e_l)\}$ 라고 하자. 그리고 $P(G)$ 는 다중 그래프 G 에서 가능한 모든 경로들의 집합으로, $P^{(l)}(G)$ 는 길이가 l 인 모든 경로들을 표현한다. 각 간선 e 의 가중치는 w_e 로 표현하며 이것은 간선에 해당되는 도로 링크(link)를 지나기 위한 필요한 비용이라고 할 수 있다. 마지막으로 도로 네트워크에 대한 교통 법규를 지정할 수 있다. 즉, 도로는 유턴 금지나 좌회전 금지 등 규칙을 가지고 있으므로 경로 탐색에 있어 이에 대한 비용을 고려해야 한다. 이에 대한 비용을 w_r 로 표현한다. 즉, $w_r(\langle e_1, e_2 \rangle) > 0$ 이면 간선 e_1, e_2 사이에 교통 규칙이 존재한다는 것을 의미한다고 하자. 시간-독립 도로 네트워크 G 는 정점들의 집합 V , 간선들의 집합 E , 간선을 통과하는 차량의 속도 등을 표현하는 간선의 가중치 w_e , 간선에 주어질 수 있는 교통 법규 가중치 w_r 인 $G = (V, E, w_e, w_r)$ 로 구성된다. 그리고 주어진 경로 $p = \langle e_1, e_2, \dots, e_l \rangle \in P(G)$ 에 대하여 시간독립 도로 네트워크에서의 경로 비용은 식 1과 같다.

$$w(p) = \sum_{e \in E(p)} w_e(e) + \sum_{i=1}^{l-1} w_r(e_i, e_{i+1}) \quad (1)$$

내비게이션 시스템에서 사용자들이 원하는 최단 경로는 출발지로부터 목적지까지 $w(p)$ 의 값이 최소인 경로이다. 시간독립 도로 네트워크에서 가중치 w_e 와 w_r 의 값은 시간이 흐르더라도 변화되지 않는 상수이다. 즉,

모든 시간대에 대해 각 도로의 통행량이나 차량의 통행 속도가 동일하다고 가정한다. 이처럼 시간독립 도로 네트워크에서 주어진 출발지와 목적지에 대해 최소의 $w(p)$ 값을 가지는 경로를 정적 최단 경로라고 한다. 시간중속 도로 네트워크 모델에서는 시간의 흐름에 따라 간선들의 가중치 w_e 와 w_r 의 값이 변화된다고 가정한다. 이는 매우 실제적인 모델로, 예를 들어 어떤 도로가 도로 보수 공사로 인해 통행이 제한되는 것을 고려하기 위해서는 가중치 w_r 의 값이 보수 공사 시간동안 변동된다. 또한 교통량이 많아지는 출퇴근 시간의 경우 그렇지 않는 시간대에 비해 w_e 의 값도 변화된다. 따라서 시간 t 에 따라 각 도로의 통행량이나 차량의 주행 속도가 변화되는 것을 반영하는 모델이다.

시간중속 네트워크 모델을 정의하기 위한 용어들은 시간독립 모델에서 정의한 것과 동일하지만 시간중속을 표현하기 위해 모든 함수에 시간 t 를 변수로 추가해야 한다. 시간중속 도로 네트워크는 $G^t = (V, E, w_e^t, w_r^t, t_e^t, t_r^t)$ 와 같이 여섯 가지 요소로 표현되며 시간독립 도로 네트워크 G 와 비교하여 두 가지 요소 t_e^t 와 t_r^t 가 추가되었다. 통행 시간 함수 t_e^t 는 간선의 통행시간을 알려주는 함수이고 턴 함수 t_r^t 는 턴 비용을 알려주는 함수이다. 출발 시간 t_1 이라고 할 때 주어진 경로 $p = \langle e_1, e_2, \dots, e_l \rangle \in P(G^t)$ 에 대하여 시간중속 도로 네트워크에서의 경로 비용은 식 2와 같이 정의된다.

$$w(p^{t_1}) = w_e^t(e_1, t_1) + \sum_{i=2}^l w_e^t(e_i, t_i + t_r^t(e_{i-1}, e_i, t_i)) + \sum_{i=2}^l w_r^t(e_{i-1}, e_i, t_i) \quad (2)$$

여기서 $t_2 = t_1 + t_e^t(e_1, t_1)$ 이며 $t_{i+1} = t_i + t_e^t(e_{i-1}, e_i, t_i) + t_r^t(e_i, t_i + t_r^t(e_{i-1}, e_i, t_i))$, $i=2, \dots, l$ 이다. 즉, t_1 는 출발점 $\delta_1(e_1)$ 을 출발할 때의 시간이고 t_i 는 중간 경유지중 하나인 $\delta_1(e_i)$ 을 통과할 때의 시간을 의미한다. 시간-중속 도로 네트워크의 최소의 비용을 가지는 $w(p^{t_1})$ 의 경로는 출발시간 t_1 에 따라 달라진다. 이처럼 시간-중속 도로 네트워크에서 주어진 출발시간에

서 시작하여 출발지로부터 목적지까지 도착하기 위한 최소의 $w(p^{t_1})$ 값을 가지는 경로를 동적 최단 경로라고 한다.

마지막으로 확률적 시간중속 도로 네트워크는 시간중속 도로 네트워크에 불확실성을 추가한 것이다. 시간중속 도로 네트워크에서 특정 시간 t 때, 도로 링크를 통과하는 차량의 속도가 주어지면 모든 운전자들은 주어진 속도로 운전한다고 가정하고 비용을 계산하게 된다. 하지만 실제로 특정 도로에서의 주행 속도가 주어지더라도 운전자의 운전 습관과 상태에 따라 운행 속도는 운전자마다 달라질 수 있다. 이러한 불확실성을 표현하기 위한 요소를 가미한 것이 확률적 시간중속 도로 네트워크이다. 불확실성으로 인해 w_e^t, t_e^t 값이 $\tilde{w}_e^t, \tilde{t}_e^t$ 로 대체되는 확률적 시간중속 도로 네트워크는 $\tilde{G}^t = (V, E, \tilde{w}_e^t, \tilde{w}_r^t, \tilde{t}_e^t, \tilde{t}_r^t)$ 로 표현된다. 이 모델에서 각 간선의 시작 정점 $\delta_1(e_i)$ 을 출발할 때의 시간은 더 이상 상수가 아니라 확률적 변수가 된다. 출발 시간 t_1 이라고 할 때 주어진 경로 $p = \langle e_1, e_2, \dots, e_l \rangle \in P(\tilde{G}^t)$ 에 대하여 확률적 시간중속 도로 네트워크에서의 경로 비용은 식 3과 같이 정의된다.

$$\tilde{w}(p^{t_1}) = \tilde{w}_e^t(e_1, t_1) + \sum_{i=2}^l \tilde{w}_e^t(e_i, \tilde{t}_i + t_r^t(e_{i-1}, e_i, \tilde{t}_i)) + \sum_{i=2}^l \tilde{w}_r^t(e_{i-1}, e_i, \tilde{t}_i) \quad (3)$$

국내 상용화된 자동차 내비게이션들은 대부분 시간 독립 도로 네트워크와 시간중속 도로 네트워크를 사용한 정적 최단 경로 탐색 서비스를 제공하고 있다. 일본의 경우 도요타의 텔레매틱스 서비스 G-BOOK에서 미래 시간 교통 흐름을 예측하는 서비스를 제공하기 시작하고 있으며 이를 이용하여 동적최단 경로 통행시간을 예측 서비스를 지원하고 있다[6]. 국내의 경우 미래 시간에 대한 교통흐름 예측과 동적최단 경로 탐색을 위한 연구 결과가 발표되고 있지만 아직 상용화되어 사용되지는 않고 있다[10-13]. 본 논문은 시간중속 도로 네트워크 모델에서 동적최단 경로 탐색 시스템을 개발하여 서울시 강남구 지역 도로 네트워크와 교통정보 데이터에 대해 동적최단 경로 탐색을 수행하고 성능을 측정하였다.

III. 베이지안 네트워크를 이용한 예측 시스템

본 절에서 소개하는 베이지안 네트워크를 이용한 교통흐름 예측 시스템은 본 논문의 저자가 개발한 것으로 예측 시스템의 자세한 내용은 참고문헌 [3-4]를 참고하기 바란다. 여기에서는 베이지안 네트워크를 이용한 예측 시스템에 대해 간단히 소개하고자 한다. 교통 흐름 예측을 위한 베이지안 네트워크 설계를 위해서는 먼저 미래 시간에 각 도로 링크의 교통 상황에 영향을 미치는 것이 무엇인지 고려하여 원인 노드를 설정해야 한다. 교통 정보 데이터의 분포를 분석한 결과 각 링크의 최근 교통 정보와 해당 링크에 대한 상·하류 링크의 최근 교통 정보가 미래 시간 해당 링크의 교통정보와 밀접한 관계가 있음을 알 수 있었다. 따라서 출판된 논문[3-4]에서와 같이 각 링크의 교통정보를 예측하기 위해 해당 링크의 상·하류 링크 모두의 최근 교통정보를 원인노드들로 설정하였다

베이지안 네트워크에서 결과노드를 Y 라고 한다면 예측 값은 원인노드들에 대한 조건부 기댓값으로 계산할 수 있으며 식 4와 같이 표현된다. 식에서 보는 바와 같이 예측 값을 계산하기 위해서는 원인노드들에 대한 결과노드의 조건부 확률이 필요하다. 조건부 확률은 베이지안 네트워크를 구성하는 모든 노드들의 결합 확률 밀도 함수를 통해 계산할 수 있다[14].

$$\hat{Y} = E[Y|X] = \int YP(Y|X)dY \quad (4)$$

베이지안 네트워크의 결합 확률 밀도 함수를 여러 개의 정규 분포가 서로 다른 비중으로 결합된 가우시안 혼합 분포(GMM: Gaussian Mixture Model)를 따른다고 가정하였다. 그리고 가우시안 혼합 분포의 파라미터들(평균, 공분산, 가중치)을 추정하기 위해 샘플 데이터들의 로그-우도(log-likelihood)를 최대로 하여 국부적 최적 해에 수렴하게 해 주는 EM (Expectation Maximization) 반복 알고리즘을 이용하였다.

베이지안 네트워크 모델의 가장 큰 단점은 돌발 상황이 발생했을 경우 예측 오차가 커질 수 있다는 것으로 이것은 베이지안 네트워크 모델이 훈련 데이터에서 패턴을 학습하는 것에서 기인한다. 일반적으로 돌발 상황에

대한 충분한 데이터를 확보하기 매우 어렵기 때문에 이러한 경우를 위한 학습이 힘들고 따라서 돌발 상황에 대한 예측 오차가 커질 수밖에 없다. 저자가 개발한 예측 시스템에서는 이러한 단점을 보완하기 위해 현재의 교통 상황을 분석하여 돌발 상황이 발생할 경우 현재의 실시간 교통 정보를 예측 모델에 반영하였다. 구체적인 방법은 이미 출판된 논문[3-4]를 참고하기 바란다.

IV. 동적 최단 경로 탐색 시스템

시간중속 네트워크에서 출발지로부터 목적지까지의 경로 비용은 출발 시간 t_1 에 대해 식 2와 같이 정의하였다. 동적 경로의 비용을 구하기 위해 필요한 요소들은 각 링크마다 출발 시간에서의 통행시간 가중치 w_e^t 와 교통법규 가중치 w_r^t , 주행시간비용 함수 t_e^t 그리고 턴(turn) 비용 함수 t_r^t 이다. 교통법규 가중치와 턴 비용 함수는 각 도로 링크가 가지고 있는 교통 특징으로 좌회전, U-턴 허용 여부와 관련이 있다. 본 연구에서 사용한 도로 네트워크와 교통정보에는 각 도로 링크들에 대한 5분 단위의 차량 평균 주행 속도만을 제공하고 있어 동적 경로 비용을 계산하기 위해 w_r^t 와 t_r^t 요소를 사용할 수 없었다. 따라서 그림 1과 같이 출발 시간 t_1 이라고 할 때 주어진 경로 $p = \langle e_1, e_2, \dots, e_l \rangle \in P(G^t)$ 에 대하여, 본 논문에서 사용한 동적 경로 비용을 위한 계산식은 식 2에서 두 가지 요소를 제외시킨 식 5와 같다.

$$w(p^{t_1}) = \sum_{i=1}^l w_e^t(e_i, t_i) \tag{5}$$

중간 경유지들에 도착 예정인 t_i 의 추정도 함수 t_r^t 를 제외하므로 $\delta_1(e_i)$ 을 통과할 때의 시간은 $t_i = t_{i-1} + t_e^t(e_{i-1}, t_{i-1})$, $i = 2, \dots, l$ 이다. 출발지 $\delta_1(e_1)$ 을 t_1 에 출발하여 첫 번째 교차로 $\delta_1(e_2)$ 에 도착 예정인 시간이 t_2 가 되므로 두 번째 간선 e_2 를 통과하기 위한 통행시간은 미래시간 t_2 일 때의 가중치 $w_e^t(e_2, t_2)$ 이다. 미래 시간 t_2, \dots, t_l 일 때의 통행 시간 가중치는 3절에

서 설명한 예측 시스템에 의해 예측된 결과를 사용하였다. 중간 경유지에 해당하는 $\delta_1(e_2), \dots, \delta_1(e_l)$ 에 도착하게 될 시간 t_2, \dots, t_l 을 계산하기 위해 필요한 주행시간비용 함수 $t_e^t(e_{i-1}, t_{i-1})$, $i = 2, \dots, l$ 도 예측 시스템의 결과를 사용하였다.

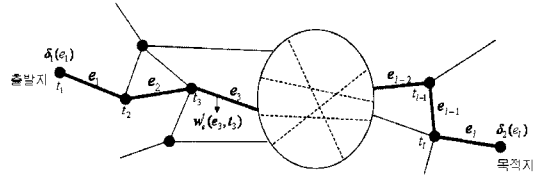


그림 1. 경로 탐색과 비용 함수
Fig. 1 Path Finding and its Cost Function

3절에서 설명한 예측 시스템의 결과는 5분 단위로 갱신되므로 중간 경유지 $\delta_1(e_3)$ 에 도착 예정 시간 t_3 이 53분 이후라고 가정하면, $\delta_1(e_3)$ 에서 50분 후의 교통 상황을 반영할지 55분 후의 교통 상황을 반영할지에 대해 결정해야 한다. 본 논문에서는 두 정보의 선형 보간 값을 중간경유지 $\delta_1(e_i)$, $i = 2, \dots, l$ 에서의 교통 정보로 사용하였다. 각 간선을 통행하는데 요구되는 통행시간 가중치 $w_e^t(e_i, t_i)$ 와 특정 교차로에 도착 예정인 시간을 구하기 위한 주행시간 비용 함수 $t_e^t(e_{i-1}, t_{i-1})$ 는 예측 시스템에 의해 구해진 미래 시간 t_i , $i = 2, \dots, l$ 에서의 각 도로 링크의 차량 평균 주행 속도와 링크의 길이를 이용하여 식 6, 식 7과 같이 계산하였다.

$$w_e^t(e_i, t_i) = \frac{Distance(e_i)}{VehicleSpeed(e_i, t_i)}, i = 1, \dots, l \tag{6}$$

$$t_e^t(e_{i-1}, t_{i-1}) = \frac{Distance(e_{i-1})}{VehicleSpeed(e_{i-1}, t_{i-1})}, i = 2, \dots, l \tag{7}$$

본 논문에서는 출발 시간 t_1 에서 지정된 출발지와 목적지에 대하여, 식 5의 $w(p^{t_1})$ 값이 최소가 되는 동적최단 경로를 탐색하였으며 최단 경로를 찾기 위한 알고리즘은 다익스트라(Dijkstra) 알고리즘을 사용하였다[15].

V. 실험 결과

본 논문에서 개발한 동적최단 경로 탐색 시스템의 성능을 분석하기 위해 탐색된 동적최단 경로의 통행시간과 실제 최단 경로(real shortest path)의 통행시간을 비교해 보았다. 실제 최단 경로는 실시간 교통정보 데이터로부터 계산한 것으로 동적 최단 경로와의 차이점은 중간 경유지에서의 교통정보를 예측 결과 대신 실제 데이터를 사용한 것이다. 따라서 동적 최단 경로의 통행시간이 실제 최단 경로의 통행시간에 가까울수록 동적 최단 경로의 정확도가 높아진다고 할 수 있다. 그리고 대부분의 자동차 내비게이션에서 사용하고 있는 정적 최단 경로와 실시간 교통정보가 제공되지 못했던 과거에 많이 사용된 누적 최단 경로(accumulated shortest path)의 통행시간을 각각 구하여 동적 최단 경로의 통행시간과 비교해 보았다.

정적 최단 경로는 출발시간 t_1 에서의 교통정보를 모든 중간 경유지에 적용하여 최단 경로를 구하는 방법으로 경로 $p = \langle e_1, e_2, \dots, e_l \rangle \in P(G^t)$ 에 대하여, 정적 경로 비용은 식 8과 같이 계산된다.

$$w(p^{t_1}) = \sum_{i=1}^l w_c^t(e_i, t_1) \tag{8}$$

식에서 보는 것처럼 중간 경유지 $\delta_1(e_i), i=2, \dots, l$ 에 대한 교통 흐름 정보는 출발시각에서의 정보를 적용한다. 누적 최단 경로는 1년 이상 누적된 교통정보로부터 평균과 유용한 통계 정보를 추출하여 누적교통정보 데이터베이스를 구축한 후 실시간 교통정보와는 무관하게 데이터베이스에 있는 교통정보를 이용하여 최단 경로를 구하는 방법으로 지능형교통정보시스템이 구축되기 이전에 시간에 대한 최단 경로를 구하기 위해 사용한 방법이다. 본 논문에서는 1년 이상 누적된 교통정보 데이터의 수집이 힘든 관계로 보유하고 있는 1달 동안의 데이터를 이용하여 누적 데이터베이스를 만들었다. 교통정보 데이터를 수집이 힘든 것은 우리나라의 경우 교통정보 수집 체계가 건교부, 도로공사 등 부처별로 나누어 수집되어 통합되어 있지 않을 뿐 아니라 원천 정보의 민간 배포 체계가 존재하지 않기 때문이다.

실험 방법은 동일한 출발지와 목적지에 대해 출발시간을 다양하게 설정한 후 동적 최단 경로, 정적 최단 경로, 누적 최단 경로와 실제 최단 경로 탐색하여 각 경로의 통행시간을 계산하였다. 실험에 사용한 도로 네트워크는 서울 강남구 일대로 가장 긴 경로의 통행시간도 30분 미만이었다. 이처럼 실험 대상이 되는 데이터가 동적, 정적, 누적최단 경로의 차이를 비교하기에는 너무 짧은 구간이기 때문에 이를 해결하기 위해 출발지와 목적지 사이의 왕복 통행 시간을 계산하여 비교하였다.

그림 2는 출발지와 목적지 및 출발시간을 동일하게 선택한 후 네 가지 방법의 왕복 최단 경로와 경로에 대한 통행 시간을 계산한 결과이다. 왕복 경로와 통행 시간이 경로를 탐색하는 방법에 따라 다르게 구해졌음을 알 수 있다. 그림에서 볼 수 있듯이 실제 최단 경로와 중간 경유지들이 가장 유사한 것은 동적 최단 경로이다. 통행시간을 비교해 보면 동적최단 경로의 통행시간이 1343초, 정적최단 경로의 통행시간이 1366초, 누적최단 경로의 통행시간이 1566로 동적최단 경로가 실제 최단 경로의 통행 시간 1230초에 가장 근접함을 알 수 있다. 다음으로 정적 최단 경로의 통행시간이 실제 통행시간에 가깝고 누적 최단 경로가 실제 최단 경로와 가장 큰 차이점을 보였다.

표 1은 다양한 실험 결과 중 임의로 선택한 10개의 출발지 및 목적지에 대한 실험 결과를 보여준다. 10개의 경로 중 8개의 경로는 동적 최단 경로의 통행시간이 실제 최단 경로의 통행시간에 가장 가까웠음을 보여준다. 임의로 선택한 출발지 및 목적지에 대한 전체 실험 중 75% 이상이 동적최단 경로의 통행 시간이 실제최단 경로의 통행 시간과 가장 가깝게 나타났다. 동적최단 경로와 정적 최단 경로의 가장 큰 차이점은 중간 경유지에 도착하게 될 미래 시점에서의 교통정보를 어떻게 반영하는가의 문제이다. 그런데 실험 대상인 서울 강남구 도로 네트워크는 가장 먼 거리의 왕복 통행 시간이 30분 이내의 거리로 현재시간으로부터 더 멀어진 미래 시간에 대한 예측 결과를 적용할 수 없다. 따라서 동적최단 경로의 장점을 반영하기 힘들므로 이를 극복하기 위해서 두 번째 실험 방법으로 현재시간으로부터 20분, 30분 이후에 출발할 경우 동적 최단 경로와 정적 최단 경로와 통행 시간이 어떻게 변화되지 살펴보았다. 실험 결과 현재 시간으로부터 몇 분 경과한 뒤에 출발할 경우, 85% 이상이 동적 최단 경로의 통행시간이 누적 및 정적 최단 경로의 통행

시간 보다 실제 최단 경로의 통행시간에 더 근접한 결과를 주었다. 이것은 긴 여행 시간을 요구하는 더 넓은 영역의 도로 네트워크에 대한 실험에서는 동적 최단 경로가 정적이거나 누적 최단 경로보다 더 정확한 탐색 결과를 줄 수 있음을 보여준다.

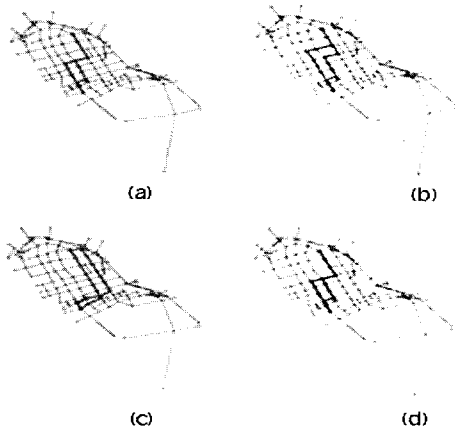


그림 2. 출발지로부터 목적지까지의 왕복통행시간:

(a)동적최단경로:1343초 (b)정적최단경로:1366초

(c) 누적최단경로:1566초 (d)실제최단경로:1230초

Fig. 2 Going and returning travel time from the starting point to the destination: (a) Dynamic shortest path:1343 sec. (b) Static shortest path:1366 sec.

(c) Accumulated shortest path:1566 sec.

(d) Real shortest path:1230 sec.

표 1. 네 종류의 최단 경로 통행시간 비교(단위: 초)

Table 2. Comparison between four kinds of travel time of their shortest path(unit: second)

경로형태 경로종류	실제 최단경로	누적 최단경로	정적 최단경로	동적 최단경로
245<->2443	1680	1968	1752	1728
191<->865	2251	2010	2348	2324
210<->2286	2227	2945	2408	2289
224<->682	1215	1783	1098	1158
191<->797	2267	1949	2397	2321
913<->200	1212	1355	1162	1187
314<->874	1230	1566	1366	1343
2443<->224	3776	4569	3195	3232
387<->5960	1486	1430	1456	1537
192<->2443	2089	2238	2031	2011

VI. 결론

텔레매틱스 서비스 중 가장 보편적으로 사용되는 최단 경로 안내 서비스이다. 시간에 대한 최단 경로를 구하기 위해 최근까지 많이 사용된 방법이 정적 최단 경로와 누적 최단 경로이지만 교통정보를 실시간으로 전송받는 것이 가능해짐에 따라 고품질의 교통정보서비스 제공에 대한 요구가 증가하고 있다. 본 논문에서는 미래 시간에 대한 교통정보 예측 결과를 바탕으로 한 동적 최단 경로 탐색 시스템을 구현하고 동적 최단 경로와 정적 및 누적 최단 경로의 통행 시간을 계산하여 탐색된 경로의 정확성을 비교해 보았다. 실험 결과, 전체 실험의 약 75% 이상이 동적 최단 경로의 통행시간이 정적이거나 누적 최단 경로의 통행시간보다 실제 최단 경로의 통행시간에 가깝게 나타났다. 따라서 현재 자동차 내비게이션에서 사용하고 있는 출발 시간의 교통정보를 이용하여 최단 경로를 구하는 정적 최단 경로보다 중간 경유지에 도착 예정인 미래 시간에 대한 교통정보를 예측하여 동적 최단 경로를 구하는 것이 더 고품질의 교통정보를 제공할 수 있음을 보여 주었다.

참고문헌

- [1] Ingrid Flinsberg, Route Planning Algorithms for Car Navigation, Ph.D Thesis, Technische University Eindhoven, 2004.
- [2] H. D. Chon, D. Agrawal and A. E. Abbadi, "FATES: Finding A Time dEpendent Shortest Path," Proc. of the 4th International Conference on Mobile Data Management, 2003.
- [3] Young Jung Yu, Mi-Gyung Cho, "A Short-Term Prediction Model for Forecasting Traffic Information Using Bayesian Network," Third 2008 International Conference on Convergence and Hybrid Information Technology, pp.247-253, 2008.
- [4] 유영중, 조미경, "베이지안 네트워크를 이용한 단기 교통정보 예측 모델," 한국해양정보통신학회 논문지 제 13권 4호, 2008.
- [5] Shiliang Sun, Changshui Zhang, Guoqiang Yu, "A

Bayesian Network Approach to Traffic Flow," IEEE Transaction on Intelligent Transportation Systems, Vol. 7, No. 1, 2006.

- [6] Hironobu Kitaoka, Takahiro Shiga, Hiroko Mori etc., "Development of a Travel Time Prediction Method for the TOYOTA G-BOOK Telematics Service," R&D Review of Toyota CRDL Vol. 41 No. 4, 2007.
- [7] G. Q. Yu, J. M. Hu., C. S. Zhang, etc. "Short-term traffic flow forecasting based on Markov chain model," Proc. IEEE Intelligent Vehicles Symp., Columbus, OH, 2003.
- [8] Road E. Turochy, "Enhancing Short-Term Traffic Forecasting with Traffic Condition Information," ASCE Journal of Transportation Engineering. 2005
- [9] Chun-Hsin Wu, Jan-Ming Ho, D. T. Lee, "Travel-Time Prediction With Support Vector Regression," IEEE Transaction on Intelligent Transportation Systems, Vol. 5, No. 4, 2004.
- [10] 남궁성, 윤일수, 조범철, TCS 자료를 이용한 고속도로 통행 시간 예측, 한국도로공사 보고서, 2000.
- [11] 강연수, 조범철 외, 승용차 길 안내를 위한 멀티미디어 서비스 체계 개발, 교통개발연구원 연구보고서, 2004.
- [12] 강연수, 조범철, 김범일, "예측통행시간 기반 동적 경로탐색시스템 개발," 한국ITS학회 2004년도 추계 학술대회, pp. 154-162, 2004.
- [13] 김동호, 노정현, 박동주, "고속도로 통행시간 예측을 위한 과거 통행시간 이력 자료 구축에 관한 연구," pp. 197~202, ITS 학회 춘계 발표논문집, 2005.
- [14] Finn V. Jensen, An introduction to Bayesian networks, UCL Press, 1996.
- [15] Thomas H. Cormen etc. Introduction to Algorithm, MIT Press, 1994.



조미경 (Mi-Gyung Cho)

1990년 2월 부산대학교
전자계산학과(이학사)
1992년 2월 부산대학교
전자계산학과(이학석사)

1998년 2월 부산대학교 전자계산학과(이학박사)
2000년 9월~ 2002년 8월 부산대학교 연구교수
2005년 9월~ 2006년 8월 워싱턴주립대학교 교환교수
2002년 9월~ 현재 동명대학교 멀티미디어공학과 조교수
※관심분야: 알고리즘, ITS/텔레매틱스, 바이오칩 설계

감사의 글

본 논문은 동명대학교 SKTU 차세대통신기술연구소 학술연구비 지원(SK TU-07-006)과 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 대학IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음(IITA-2009-C1090-0902-0004)