

도로 위계 구조를 고려한 동적 최적경로 탐색기법

Development of Dynamic Shortest Path Finding Model Using Hierarchical road network

이승재
(서울시립대학교, 교수)

김범일
(서울시립대, 석사과정)

Key Words : Hierarchical road network(도로위계 구조), Dynamic Shortest Path(동적 최적경로 탐색)

목 차

- I. 서론
- II. 기존 연구 방법
- III. 모형 구축 및 적용
- IV. 평가
- V. 결론 및 향후 과제

I. 서론

1. 연구 배경 및 목적

도로는 이동성과 접근성의 기능에 따라서 고속도로, 간선도로, 집산도로, 국지도로등으로 구분되어 진다. 고속도로와 간선도로는 이동성 기능이 주 기능이고, 국지도로는 주 기능이 접근성이며, 집산도로는 간선도로와 국지도로의 중간 기능을 담당하고 있다. 이처럼 도로는 그 기능에 따라 각각의 역할이 나뉘어진다. 실제 도로상에서는 그 기능을 정확히 구분되어지는 않지만 사람들은 무의식적으로 도로의 기능을 인지하며 행동을 취한다.

하지만 전통적으로 최적경로를 탐색하는 경우에는 이런 도로의 위계를 고려하지 않고, 각 링크의 통행비용만을 이용하여 최적경로를 탐색하여 교통정보를 제공하고 있다. 이런 최적경로 탐색 기법은 운전자가 이동할 거리가 짧거나, 시간이 적게 걸리는 경우에는 큰 영향을 미치지 않는지만, 거리가 점점 멀어지거나 시간이 많이 걸리는 경우에 사람들은 위계가 높은 도로를 선호를 하며, 위계가 높은 도로를 이용하여 출발지에서 목적지까지의 경로를 정한다.

본 연구에서는 도로의 위계를 고려하여 최적경로를 탐색 기법을 적용하려고 한다. 또한 최적 경로를 탐색할 경우에 정적인 통행시간이 아닌 시간이 흐름에 따라 변하는 링크의 통행시간을 고려하여 보다 현실적인 최적경로 탐색 기법을 도입하고자 한다.

2. 연구 방법 및 흐름도

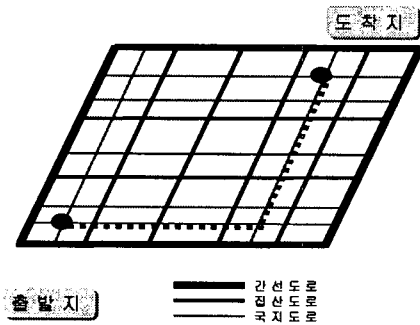
Stochastic Process를 이용한 통행시간 예측	도로 위계를 고려한 동적 최적 경로 탐색
<p>서울시 GIS 네트워크 업데이트</p> <ul style="list-style-type: none"> - 「2001년 전국 교통DB 구축사업」 기반으로 서울시 GIS네트워크 업데이트 	<p>도로 위계를 고려한 네트워크 수정</p> <ul style="list-style-type: none"> - 도로 위계를 고려한 네트워크 수정 - 「2001년 전국 교통DB 구축사업」 레벨2,레벨3, 레벨4를 수정함
<p>군집분석을 통한 데이터 그룹화</p> <ul style="list-style-type: none"> - 기존 실시간 자료가 있는 링크 통행시간자료를 이용하여 링크타입 구분 	<p>Dijkstra 알고리즘</p> <ul style="list-style-type: none"> - 동적인 통행시간을 반영하기 위해 기존의 Dijkstra알고리즘 수정
<p>통행시간 예측</p> <ul style="list-style-type: none"> - 각 그룹별 시간변화에 따른 전이 확률 계산 - 기존의 시간대 통행시간과 각 그룹별 전이확률을 이용하여 통행 시간대별 통행시간 예측 	<p>최적 경로 및 최단거리</p> <ul style="list-style-type: none"> - 동적 통행시간을 반영한 최단거리 및 최적시간 산출
Stochastic Process와 도로 위계를 고려한 동적 최적 경로 탐색	
<p>- Stochastic process를 이용하여 예측된 통행시간을 기반으로 동적인 최적경로 탐색 및 기존의 방법과의 결과 비교 검토</p>	

II. 기존 연구 방법

1. 기존의 최적 경로 탐색 기법 및 네트워크 구조

지금까지 최적경로 탐색에 이용되는 노드 링크체계에서는 하나의 네트워크를 이용하여 탐색하는 방법을 이용하였다. 이는 운전자들이 도로 경로 선정에 있어서 일반적으로 도로의 위계를 고려되어지는 현실과의 차이가 발생된다. 링크의 통행시간이 도로의 등급을 반영되어진다고 할 수 있지만 도로의 위계를 간접적으로 적용한 것으로 실질적으로 고려된 것은 아니다. 특히 장거리를 이용하는 경우에 상대적으로 도로의 위계를 고려하여 통행되어지는 경향이 있다.

<그림 1>은 최적경로 탐색을 할 경우 최적경로탐색 결과 예이다. 이처럼 실제로 도로상의 최적인 값은 집산도로나 국지도로를 이용한 결과값이 더 나은 결과를 보이지만 실제로 도로 주행상 운전자들은 도로의 선호도를 고려할 경우에 간선도로나 고속도로를 이용을 선호도를 고려하지 못한다.

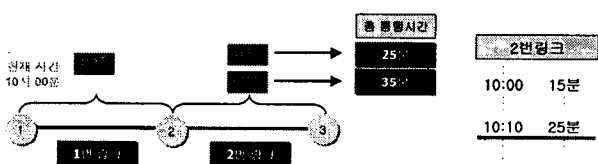


<그림 1> 기존네트워크 상에서의 최적경로 탐색

2. 기존의 최적 경로 탐색

최적경로를 탐색할 때 이용되는 링크의 통행시간은 탐색하고자 하는 시점의 최적의 통행시간이다. 이는 운전자가 링크를 통행하는데 걸리는 시간을 무시하는 결과로 실제 통행시간과 차이가 발생하며, 결국에는 최적의 통행경로에도 변화한다. 이렇게 시간에 따라 변하는 교통 상황을 반영할 필요가 있다.

<그림 2>는 운전자가 노드 1에서 노드 3을 지나갈 경우에 노드1인 시점에서 최적경로를 탐색할 경우의 통행시간은 기존의 방법의 경우에는 링크 1의 통행시간 10분과 링크 2의 통행시간 15분의 합인 25분이지만, 운전자가 링크2에 진입할 경우에 링크2의 통행시간의 변화에 의해 실제로는 링크 1의 통행시간 10분과 링크 2에 진입할 때의 링크 2의 통행시간 25분의 합인 총 35분의 통행시간 정보를 제공해야 한다.

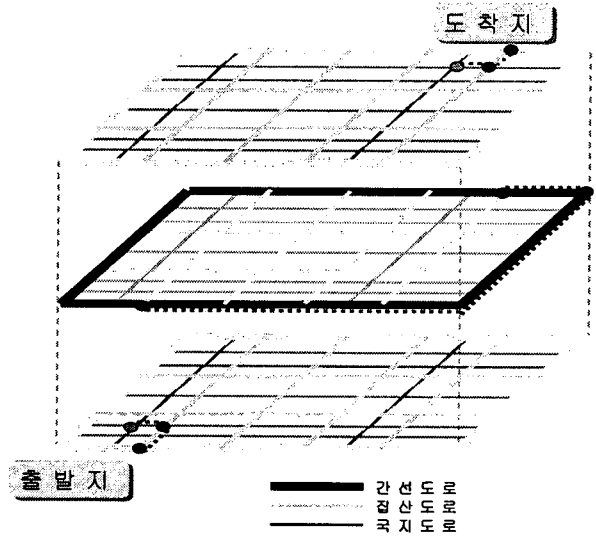


<그림 2> 교통량 변화를 고려하여 통행시간에 측정보제공

III. 모형 구축 및 적용

따라서 본 연구에서는 최적경로탐색시 도로의 위계를 반영한 탐색기법을 도입하고자 한다. 또한 링크의 통행시간은 Stochastic Process기법을 이용한 예측 통행시간을 기반으로 한 동적인 최적경로를 탐색한다.

<그림 3>은 도로의 위계를 고려할 경우에 기본적인 최적경로 탐색 기법이다. 만일 출발지가 국지도로인 경우에 출발지에서 가장 가까운 위계가 높은 집산도로로 이동하고, 집산도로에서는 가장 가까운 간선도로로 이동한다. 간선도로를 이용하여 노선의 대부분을 이동하고 도착지와 가장 가까운 집산도로로 이동하고 집산도로에서 최종 목적지인 국지도로로 들어선다는 개념이다.

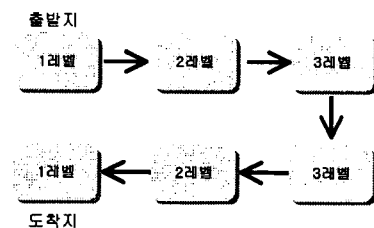


<그림 3> 도로 위계를 고려한 최적경로 탐색

1. 네트워크 구축

도로 위계를 고려한 도로 네트워크를 구축하기 위해서 기본적으로 「2001년 전국 교통DB 구축사업」에 의해 구축되어진 교통데이터를 이용하였다. 이 중에서 레벨 1(축척, 1:5000, 1:5000에 소속된 전도로), 레벨 2(축척, 1:25,000, 양방향 2차선도로, 이면도로는 제외함), 레벨 3(축척, 1:100,000, 고속도로, 국도, 지방도, 특별시, 광역시, 일반시내의 주요 간선축 도로)을 이용하여 데이터를 수정하여 본 연구에 적용하였다.

<그림 4>는 최적경로 탐색시 탐색 절차를 나타낸 것으로 출발지에서는 도로 위계가 높은 도로로 이동하며, 가장 상위 등급에서는 도착지에 도달하기까지 점점 도로 위계가 낮은 도로를 이용하여 탐색하는 절차를 거친다.



<그림 4> 최적경로 탐색 절차

2. 동적 통행시간

1) 동적 통행시간 적용

본 연구에서는 운전자가 통행을 시작할 때의 교통상황을 기반으로 하지 않고, 운전자가 실제로 링크에 도달했을 경우 그 시간대의 링크의 통행시간의 예측을 통하여 이를 바탕으로 통행시간 정보를 제공하려고 한다.

위와 같은 동적인 통행시간은 다음의 수식으로 보다 명확하게 알 수 있다.

$$C_p^d(t) = c_{a_1}(t) + c_{a_2}(t + c_{a_1}(t)) + \dots + c_{a_m}(t + c_{a_1}(t) + \dots + c_{a_{m-1}}(t + c_{a_1}(t) + \dots + c_{a_{m-2}}(t)))$$

$$C_p^n(t) = c_{a_1}(t) + c_{a_2}(t) + \dots + c_{a_m}(t)$$

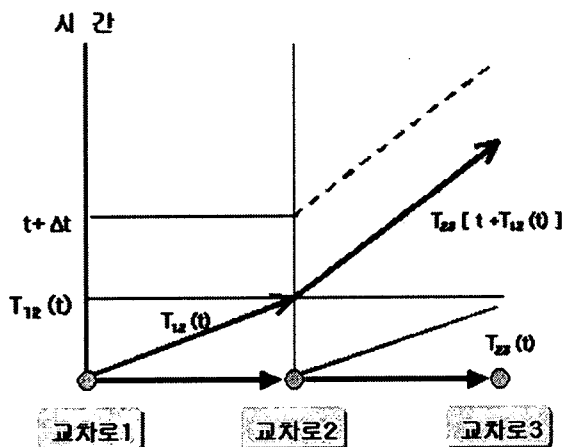
여기서, $C_p^d(t)$ 는 시간 t에 출발하여 경로 p를 이용할 때의 동적 통행시간,

$C_p^n(t)$ 는 시간 t에 출발하여 경로 p를 이용할 때의 정적 통행시간,

$c_a(t)$ 는 시간 t에 link a의 통행시간이고,

$$a_1, a_2, \dots, a_m \in p$$

위의 식에서 알 수 있듯이, 현실적 경로통행시간 $C_p^d(t)$ 는 운전자가 경로를 이루는 각 링크에 진입하는 시각에서 그 링크 통행시간을 계산하여 이들을 합하여 계산하는 반면, 정적인 통행시간 $C_p^n(t)$ 는 운전자가 경로를 출발하는 시각에 경로를 이루는 모든 링크에서 나타난 통행시간을 그대로 합하여 계산한다. 예측 통행시간의 예측 주기는 5분단위로 하며, 탐색시간을 기준으로 하여 2시간까지의 예측 통행시간 적용하였다. 하지만, 실제로 통행시간의 예측 주기와 링크통행시간의 차이가 발생하는 경우가 있다. <그림 5>은 예측 간격과 링크통행시간과의 차이를 보여준다. 즉, 위의 그림과 같이 각 링크별로 $t + \Delta t$ 와 $T_{12}(t)$ 간의 통행시간간격오차가 발생한다. 이와 같은 경우에는 예측주기의 중간값을 이용하여 예측주기 동안은 동일한 값을 적용하였다.



<그림 5> 예측간격과 링크통행시간과의 차이

2) 통행시간 예측

링크의 통행시간 예측 기법으로는 Stochastic Process 기법을 이용하였다.

(1) Stochastic Process 기법 절차

- 군집분석을 통한 데이터 그룹화
 - 기존 실시간 자료가 있는 링크 통행시간자료를 이용하여 링크타입 구분
- 통행시간 예측
 - 각 그룹별 시간변화에 따른 전이확률 계산
 - 기존의 시간대 통행시간과 각 그룹별 전이확률을 이용하여 통행시간대별 통행시간 예측

3) Dijkstra 알고리즘 수정

기존의 Dijkstra 알고리즘을 시간에 따라 변하는 교통상황을 반영하기 위해서 통행시간 테이블을 이용하여 최적경로 탐색하는 방법을 적용한다.

(1) 용어정리 및 알고리즘 정리

$C_i^{arr}(s)$: 시간대 s에 기점을 출발하여 노드 i에 도착하기까지의 비용

$t_a(C_i^{arr}(s))$: $C_i^{arr}(s)$ 에 링크 j로 진입한 운전자의 동적 통행시간

t_a : 링크 a(i,j)의 통행시간으로 링크 a의 기점은 노드 i, 종점은 노드 j

· 단계 1: 초기화

- 모든 노드 j에 $C_j^{arr}(s)$ 를 임시표지 π_j 로 기록

(j = 2, ..., N)

- 교점 1에 i를 연결하는 링크가 없으면

$$C_j^{arr}(s) = \infty \text{로 간주}$$

$$\pi_h^* \leftarrow 0$$

$$\pi_j \leftarrow C_j^{arr}(s) \quad (j = 2, \dots, N)$$

· 단계 2: 영구표지

- $\pi_i \leftarrow \min[\pi_j]$ π_i 를 π_i^* 로 수정한다.

$$\text{이 때, } C_i^{arr}(s) = \pi_i^*$$

더 이상 임시표지가 없으면 단계 4로 간다.

· 단계 3: 단계 1에서 영구 표지된 교점 i의 모든 인접교점 j의 임시표지를 수정하고 영구표지 π_j^* 에 링크 (i, j)의 비용 $t_a(C_i^{arr}(s))$ 를 합한 값과 기존의 임시표지 π_j 을 비교하여 작은 값을 선택.

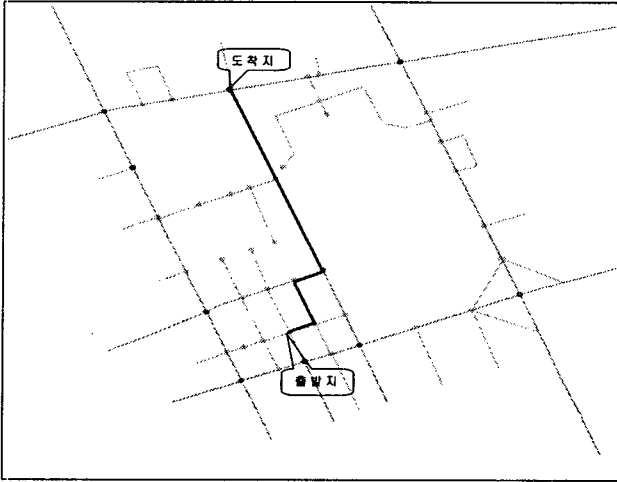
$$\pi_j \leftarrow \min[\pi_j, \pi_i^* + t_a(C_i^{arr}(s))]$$

단계 2로 돌아간다.

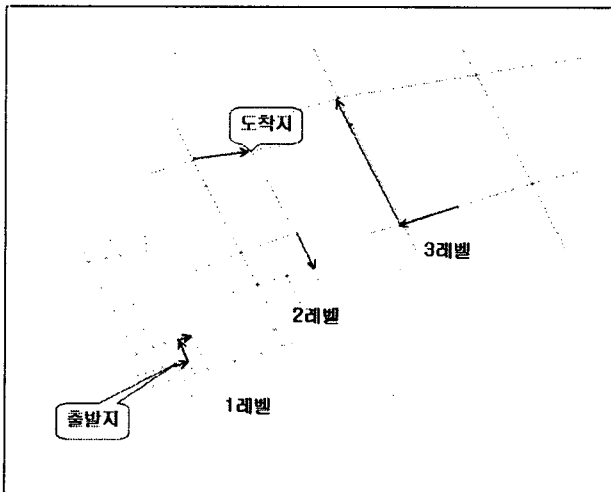
· 단계 4: 종료

IV. 평 가

모의 네트워크상에서 프로그램을 통해서 적용해 보았다. 모의 네트워크는 서울시 일부 한 블록을 선정하여 기존의 탐색 방법과 위계를 고려한 경우에 적용해 보았다.



<그림 6> 기존 네트워크상에서 적용시 최단거리



<그림 7> 위계를 반영한 네트워크상에서 적용시 최단거리

<그림 6>은 기존 방법으로 탐색한 것으로 최단거리가 744.885m이고, 위계를 고려한 경우에는 1725.389m로 기존의 탐색방법이 훨씬 거리가 적게 나왔다. 한 블록 내에서의 최단 거리를 탐색할 경우 위계를 고려한 도로네트워크 구조상 돌아서 가기 때문에 위계를 고려한 방법이 훨씬 비용이 많이 나오는 걸로 나왔다.

V. 결론 및 향후 과제

본 연구에서는 기존 최적경로탐색에서는 고려하지 않았던 도로의 위계구조를 고려하여 네트워크에 적용해 보았다. 모의 네트워크 상에는 한 블록만을 대상으로 실험한 결과 기존의 방법이 더 효율적인 방법이었다. 하지만 실제로 도로의 목적지가 장거리일수록 사람들이 도로의 위계를 고려하여 탐색하는 경향에 비추어 실제로 장거리 통행일 경우에는 위계를 고려하는 방법이 현실적일 것이다.

향후 연구과제로는 사람들이 실제로 도로위계구조를 고려할 때 거리나, 시간이 어느 정도 이상일 경우에 실제로 적용되는지를 검토할 필요가 있을 것이다.

참고문헌

1. 김태중, "도로위계구조를 고려한 노선 배정기법에 관한 연구", 대한교통학회지, 제13권 제 3호, 1995
2. Adrijana Car and Andrew U.Frank, "Hierarchical Street Networks as a Conceptual Model for Efficient Way Finding,"
3. Adrijana Car, Henny Mehner, George Taylor, "Experimenting with Hierarchical Wayfinding"
4. Adrijana Car, Andrew U, Frank, "Modelling a Hierarchy of Space Applied to Large Road Networks"
5. Mahamassani, Hani, Chen, Peter "An Investigation of the Reliability fo Real-time Information for Route Choice Decisions in a Congested Traffic System"