
경로의 직진성을 고려한 턴 휴리스틱 A* 알고리즘의 구현

문대진* · 조대수*

An Implementation of A* Algorithm with Turn Heuristic for Enhancing the Straightness of a Path

Dae-Jin Moon* · Dae-Soo Cho*

요 약

사람이 길을 때와는 달리 차량으로 이동할 경우 좌회전, U턴 등의 방향 전환시 교통신호를 받거나 속도를 줄여야만 하는 지연시간이 존재한다. 동일한 거리를 이동한다면 방향전환이 많은 경로보다 직진 구간이 많은 경로가 목적지에 더 빨리 도착할 가능성이 높다. 기존의 연구 중 이러한 직진성을 고려한 경로탐색은 연구되어 지지 않았다. 이 논문에서는 방향전환이 이루어지는 경로에 대해 가중치를 부여하여 직진성을 높인 경로 탐색 방법을 소개한다. 또한, 기존의 A* 알고리즘과 이 논문에서 제안하는 휴리스틱을 적용한 알고리즘으로 탐색된 경로를 비교해 보았다. 실험결과 직진성이 약 30% 가량 향상되었으며 이동거리는 약 3.3%가량 축소되는 결과를 보였다.

ABSTRACT

In driving a car, u-turn or left turn makes the speed of car decrease considerably or require more waiting time at the cross for the traffic signal to turn green. A more straight path, therefore, is probably faster to arrive at the destination than zig-zaged path with same distance. Previous works related to the path navigation do not consider the straightness of the path. In this paper, we have proposed the path navigation algorithm with turn heuristic for enhancing the straightness of a path. We have implement the proposed algorithm and compared it with a traditional A* algorithm. The experimental result shows that the degree of the straightness of a path is enhanced by 30% and the navigation distance of a path is decreased by 3.3%.

키워드

직진성, 휴리스틱, 맨하탄, A*, 방향전환

I. 서 론

인구가 증가 하고 차량이 대량 보급 되면서 원활한 차량소통을 위한 도로 또한 과거에 비해 많아졌다. 단순히 도로가 확장되었을 뿐만 아니라 없던 도로가 생기면서 기존의 도로와 연결점을 만들기 위해 교차로와 신호등도 많이 생겨났다.

일반적으로 사람이 길을 때와는 달리 차량이 이동할 때 좌회전이나 유턴 등 방향전환이 필요할 경우 교통신

호를 받아야 하는 대기시간이 존재한다. 따라서 동일한 거리를 차량으로 이동할 때 직진하는 구간이 많은 경로가 그렇지 않은 경로보다 더 빠른 시간 안에 목적지에 도착할 가능성이 높다.

이 논문에서는 직진성이 높은 경로를 탐색하기 위해서 턴(Turn) 휴리스틱을 적용한 A* 알고리즘을 제안한다. A* 알고리즘[1]은 대표적인 경로탐색 기법으로, 보통은 맨하탄(Manhattan) 거리를 휴리스틱으로 사용한다. 턴 휴리스틱은 방향전환이 생기는 간선에 대해 가중치

를 부여하여 경로의 직진성을 향상시키는 휴리스틱이다. 방향전환은 좌회전, 우회전, U턴, 직진으로 구분하고, 각각의 방향전환에 따라 서로 다른 가중치를 부여한다.

이 논문에서는 기존의 A* 알고리즘을 바탕으로 턴 휴리스틱을 적용한 A* 알고리즘을 구현하여, 도로 데이터를 바탕으로 성능을 비교하였다. 실험결과 턴 휴리스틱을 적용한 방법이 기존의 A* 알고리즘 보다 방향전환 횟수가 대폭 감소되어 직진 구간이 많아지고, 경로길이(탐색된 경로의 간선들의 길이 합 + 패널티 거리)도 축소되었다.

II. 관련 연구

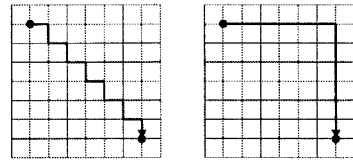
A* 알고리즘은 가장 널리 사용되는 길 찾기 알고리즘이다. 게임에서 많이 쓰이는 이 방법은 G, H, F 라는 3가지 평가함수와 열린 목록과 닫힌 목록의 두 개의 목록을 사용한다. 이때 G(goal)는 시작노드에서 현재 위치까지 오는 데 드는 비용이고, H(heuristic)는 현재 위치에서 목적지까지 드는 추정 비용이다. F(fitness)는 G와 H값을 합한 값이다. 경로를 탐색할 때 인접한 노드들 중 F값이 가장 최적인 노드를 다음 노드로 선택한 뒤 닫힌 목록에 넣고, 나머지 노드들을 열린 목록에 넣는다. 그리고 이 과정을 목적지를 찾을 때까지 반복하여 경로를 탐색한다.

일반적으로 지도상에서 목적지까지의 경로를 탐색할 때 A* 알고리즘은 H값을 맨하탄 거리를 사용한다. 맨하탄 거리는 목적지까지의 거리를 가로축과 세로축으로 구분하고 이를 더한 값이다. 두 점의 직선거리를 계산하지 않는 맨하탄 거리는 최적경로에 대한 접근성이 떨어지지만 연산속도가 매우 빠른 장점이 있다[1][2].

III. 턴 휴리스틱

3.1 턴 휴리스틱의 필요성

실제 도로에서 차량으로 운행할 때 항상 최고 속도로 운행하기 힘들다. 왜냐하면, 교차로와 같이 속도를 줄이고 방향을 바꾸거나(좌, 우회전) 신호를 기다려야 하는 지연시간이 있기 때문이다.



(a) 기존의 방법 (b) 방향전환 고려
그림 1. 방향전환 고려의 필요성

Fig. 1 Need for consideration of turns in finding an optimal path

일반적으로 직진으로만 운행할 경우가 좌, 우회전이 많은 경우 보다 더 빨리 목적지에 도착할 수 있다. 그림 1과 같이 두 경로의 길이는 같지만 실제 목적지까지 이동하는데 걸리는 시간은 (b)의 경우가 더 빠를 가능성이 높다[3]. 따라서 방향전환 횟수를 줄이면서 경로의 직진성을 높이는 새로운 휴리스틱 가중치가 필요하다.

3.2 턴 휴리스틱의 정의

시작 노드 s 에서 목적 노드 d 까지의 경로를 $P_{s,d}$ 라 하자. 간선 $e \in P_{s,d}$ 의 진행방향은 경로 $P_{s,d}$ 에서 간선 e 의 이전노드 $prev(e)$ 에 의해서 결정된다. 예를 들어 설명하면 다음과 같다.

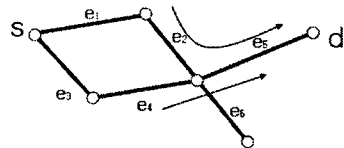


그림 2. 방향전환 예

Fig. 2 Example of different kinds of turn at the same edge e_5

그림 2에서 s 에서 d 까지의 경로는 다음과 같이 존재한다.

$$P_1 = \langle e_1, e_2, e_5 \rangle, P_2 = \langle e_3, e_4, e_5 \rangle$$

간선 e_5 는 두 경로에 다 포함되고 있지만, P_1 에서는 $prev(e_5) = e_2$ 에 대해서 좌회전 방향이지만, P_2 에서는 간선 $prev(e_5) = e_4$ 에 대해서는 직진 방향이므로 서로 진행방향에서 차이가 있다.

이 논문에서는 이러한 진행방향의 차이를 경로탐색

알고리즘에 적용하여 직진성을 보장하는 알고리즘을 제안한다. 각 간선의 이전 간선에 대한 방향성에 대해서 가중치를 달리하고, 이를 턴 휴리스틱이라 정의한다.

3.3 간선의 방향전환 종류와 판단기준

턴 휴리스틱을 적용한 알고리즘에서 방향전환의 종류는 직진, 좌회전, 우회전, U턴으로 구성된다. 판단기준은 별도의 정보가 포함되지 않은 도로 네트워크 시스템에 대해서는 진행방향에 대한 각도(angle)로 추정한다.

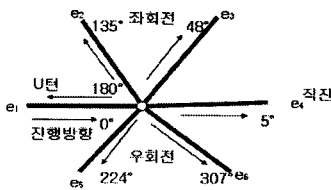


그림 3. 방향전환의 판단
Fig. 3 Decision of the kinds of turn

그림 3은 각도 정보를 가지는 그래프에서 방향전환을 판단하는 모습을 나타낸다. 간선 e_1 진행방향의 각도가 0도일 때 이동 가능한 간선들 중 각도가 가장 근접한 e_4 를 직진으로 간주하고, e_4 를 기준으로 왼쪽으로 기울어진 간선을 좌회전, 오른쪽으로 기울어진 간선을 우회전으로 판단한다. 따라서 좌회전 간선은 e_2, e_3 이고, 우회전 간선은 e_4, e_5 가 된다.

3.4 비용모델

기존의 경로탐색[4]에서 쓰이는 비용모델은 산출된 경로를 구성하는 모든 간선들의 거리의 합으로서, 시작 노드 s 에서 목적 노드 d 까지의 경로 $P_{s,d}$ 의 비용은 다음의 수식 (1)과 같다. 이 논문에서는 모든 간선들의 길이뿐 아니라, 경로상에서 간선의 방향전환 가중치를 고려하여 경로 $P_{s,d}$ 의 비용을 (2)와 같이 계산한다.

$$Cost(P_{s,d}) = \sum_{e \in P_{s,d}} e.length \quad (1)$$

$$Cost(P_{s,d}) = \sum_{e \in P_{s,d}} (e.length + e.weight) \quad (2)$$

단, 경로상에서 최초 간선 e_0 에 대한 $e_0.weight=0$ 이다.

3.5 턴 휴리스틱의 구현

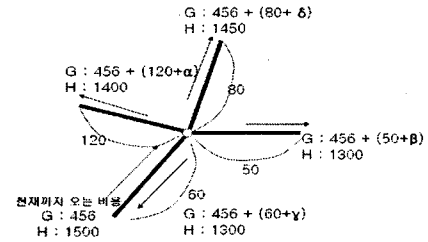


그림 4. 턴 휴리스틱
Fig. 4 Example of applying the turn heuristic in path finding

그림 4는 턴 휴리스틱을 적용한 A* 알고리즘으로 목적노드를 찾아가는 중 다음 선택노드의 우선권을 결정하기 위해 계산하는 모습이다. G와 H는 각각 A* 알고리즘의 goal 과 heuristic을 뜻한다. 다음 노드를 선택하는 과정은 다음과 같다.

- (1) 인접 노드에 대해 G 계산
- (2) 인접 노드에 대해 H 계산
- (3) $F = G+H$
- (4) F가 최소인 노드를 선택

A* 알고리즘을 변형한 대부분의 알고리즘[4][5][6]에서는 H값을 변형시키지만, 제안하는 알고리즘에서는 G 값에 변화를 주고 H값은 일반 맨하탄 휴리스틱을 사용한다. 턴 휴리스틱의 방향전환 가중치는 다음 노드를 선택하는 순간에만 영향을 주는 것이 아니라 전체 경로의 직진성을 높이기 위한 가중치이기 때문이다.

이 논문에서 제안하는 턴 휴리스틱은 기본적으로 맨하탄 휴리스틱을 따른다. 그러나 경로 탐색시 방향전환이 생기는 간선에 대해 가중치를 부여하며 이 가중치는 좌회전, 우회전, U턴, 직진 등에 따라 각각 $\alpha, \beta, \gamma, \delta$ 다른 수치를 갖는다. $\alpha, \beta, \gamma, \delta$ 의 가중치 값에 따라 경로 탐색의 성능이 달라지겠지만 이 논문에서는 이에 관해 자세히 다루지 않는다.

IV. 구현결과 및 성능비교

4.1 턴 휴리스틱 A* 알고리즘 구현

이 논문에서 제안하는 턴 휴리스틱을 적용한 A* 알고리즘은 Windows XP 환경에서 개발하였으며, 개발 언어는 MS사의 VC++6.0으로 프로그래밍 하였다. 경로는 제안하는 턴 휴리스틱을 적용한 모델과 기존의 A* 알고리즘으로 탐색한다. 시스템에서 사용되는 데이터는 부산 시내 도로 데이터로서, 106,253개의 간선으로 구성되며, 평균 간선의 길이는 65이다.

4.2 성능 비교 실험 I

경로 탐색 알고리즘의 성능 비교를 위하여, 1,000개의 (시작 노드, 목적 노드)로 구성되는 데이터 셋을 생성하였다. 데이터 셋 내의 모든 (시작 노드, 목적 노드)에 대해서 기존 A* 알고리즘과 턴 휴리스틱을 적용한 알고리즘으로 각각 경로를 탐색하였다. 턴 휴리스틱에서 사용되는 방향 전환 가중치 $\alpha, \beta, \gamma, \delta$ 는 각각 80, 20, 80, 0을 사용하였다.

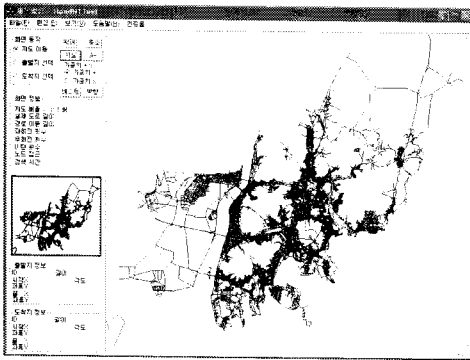


그림 5. 경로탐색 시스템 구현 모습

Fig. 5 Implementation result of path finding system

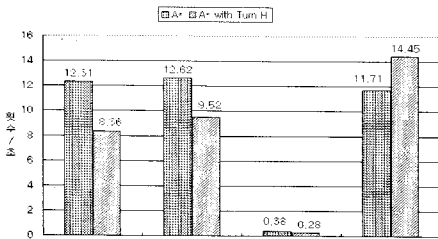


그림 6. 휴리스틱 직진성 비교

Fig. 6 Experimental Result: the degree of the straightness



(a) A* (경로길이 : 10,773 m) (b) A* with Turn Heuristic (경로길이 : 8,943m)

그림 7. 경로 탐색 모습

Fig. 7 Experimental Result : the shape of paths

그림 6은 탐색된 경로의 방향전환 횟수와 검색 시간을 평균 수치를 그래프로 나타낸 것이다. 턴 휴리스틱의 방향전환 횟수가 30%가량 감소한 것을 볼 수 있다. 비록 검색시간이 약간 증가했지만 직진성이 대폭 향상된 것을 알 수 있다. 그림 7은 실험 데이터 셋에 포함된 특정 (시작노드, 목적노드)에 대해서 각 알고리즘으로 탐색된 경로를 보이고 있다.

그림 8은 각 알고리즘에 의해 생성된 경로에 대해서 [도로길이], [경로길이], [노드접근횟수]를 보이고 있다. [도로길이]는 경로를 구성하는 모든 간선들의 길이 합을 나타내는 것으로서, 방향 전환으로 인한 가중치를 고려하지 않은 수치이다. 반면에, [경로길이]는 3.4 절에서 제안한 비용모델로 계산된 수치로서, 방향전환에 따른 가중치를 포함하고 있다.

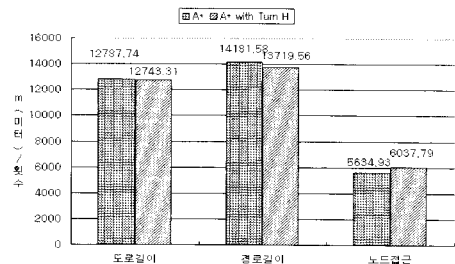


그림 8. 휴리스틱 성능비교

Fig. 8 Experimental Result: the performance comparison

이 논문에서 제안하는 방향전환 가중치를 고려한 알고리즘은 기존 A* 알고리즘에 비해서 방향전환 횟수가 감소할 뿐 아니라, 방향전환을 고려하지 않은 [도로길

이]에서도 좋은 성능을 보임을 알 수 있다. 즉, 3.4절에서 제안한 비용모델 (2)뿐 아니라, 비용모델 (1)에서도 좋은 결과를 보이고 있다.

4.3 성능 비교 실험 II

A* 알고리즘은 휴리스틱 수치에 따라서 검색속도와 최적경로에 대한 근접성에 큰 영향을 받는다. 예들 들어, G값 계산에서 사용되는 방향전환 가중치의 값을 높임으로써, 휴리스틱의 비중을 낮추면 탐색범위가 넓어져 검색속도가 느리지만 최적에 가까운 경로를 탐색할 수 있다. 반면, 휴리스틱의 비중을 높이면 보다 빠른 검색을 할 수 있지만 경로의 정확도가 떨어진다[4].

따라서 방향전환 휴리스틱을 적용한 A* 알고리즘에서 좌회전, 우회전, U턴, 직진에 대한 방향 전환 가중치 비율에 따른 탐색 경로의 성능 비교가 필요하다. 이 절에서는 방향전환 가중치 중 우회전 가중치를 변경하여, 실험한 결과를 보인다. 즉, 좌회전과 U턴 가중치인 α 와 γ 는 도로 데이터 셋을 구성하는 간선들의 평균 길이의 200%로 고정하고, 직진 가중치 δ 는 0으로 고정하였다. 반면에 우회전 가중치인 β 는 도로 데이터 셋을 구성하는 간선들의 평균 길이의 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 100%를 사용하였다. 좌회전 가중치 200%의 의미는 길이가 10인 간선이 경로 상에서 이전 간선에 대해서 좌회전 방향인 경우에 길이가 $30(=10+10*200\%)$ 인 간선으로 간주한다는 것이다. 즉, 좌회전을 위한 감속 및 신호대기시간으로 인해서 이동시간이 평균 200% 추가로 발생한다는 것을 의미한다.

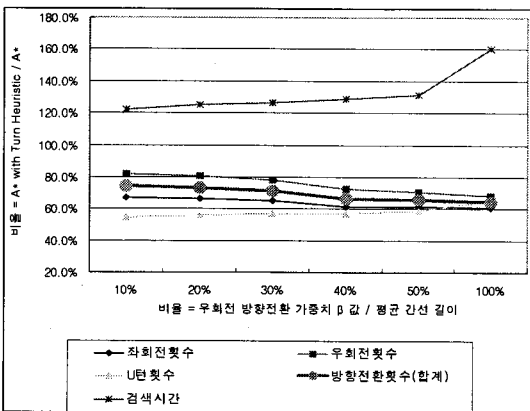


그림 9. 가중치 변경에 따른 성능 비교
Fig. 9 Experimental Result : varying the right-turn weight

그림 9는 200개의 (시작 노드, 목적 노드)로 구성된 데이터 셋에 대해서 탐색된 경로의 방향전환 횟수를 보이고 있다. 우회전 방향전환 가중치 값을 증가시킴에 따라서 방향전환 횟수는 지속적으로 감소하며, 반면에 검색 시간은 증가함을 알 수 있다.

V. 결론

이 논문에서 제안된 턴 휴리스틱을 적용한 A* 알고리즘은 기존 A* 알고리즘보다 방향전환 횟수가 평균 30% 가량 감소하여 경로의 직진성이 많이 향상됨을 보였다. 직진성의 증가는 경로의 직진구간이 많아졌음을 뜻한다. 따라서 턴 휴리스틱을 적용한 A* 알고리즘으로 탐색된 경로를 실제 차량이 운행한다면 직진성이 고려되지 않은 기존의 경로보다 실제 이동시간이 적게 걸릴 가능성이 높다.

실험결과 기존의 A* 알고리즘보다 검색시간이 약 19% 가량 증가하고, 노드접근도 약 6.7% 가량 증가하였다. 검색시간과 노드접근은 가중치 수치에 영향을 받는다. 즉, 방향전환 가중치 수치를 증가시키면 방향전환 횟수는 감소하고 검색시간 및 노드 접근은 늘어남을 보였다. 따라서 향후 최대 효율을 낼 수 있는 가중치를 결정하기 위한 연구가 필요하다.

노드 접근 및 검색 시간을 줄이는 또 다른 방법은 계층 구조를 사용하는 것이다. 계층경로 탐색 알고리즘[7]은 모든 간선에 계층을 두어 경로를 탐색한다. 향후 최대 효율을 내는 턴 휴리스틱 가중치와 더불어 계층구조를 사용한다면 보다 최적에 가까운 경로가 탐색되고, 노드 접근 및 검색시간을 대폭 줄인 경로가 탐색 될 것으로 예상된다.

참고문헌

[1] Peter E. Hart, Nils J. Nilsson and Bertram Raphael, "A Formal Basis for the Heuristic Determination of Minimum Cost Paths in Graphs," IEEE Trans. on Systems Science and Cybernetics, Vol. SSC-4, No. 2, pp 100-107, 1968
[2] "A* Pathfinding for Beginners", <http://www.gamedev>.

net/reference/programming/features/astar/

- [3] 문대진, 조대수, “방향전환 최소화 기법을 적용한 계층 경로 탐색 알고리즘”, 한국해양정보통신학회 2007 춘계 종합학술대회, Vol.11, No.1, pp.323-326, 2007
- [4] 이현섭, 김진덕, “고정 그리드 기반 가변 휴리스틱을 이용한 최적경로 탐색”, 한국해양정보통신학회 2005 추계 종합학술대회, Vol.9, No.2, pp.137-141, 2005
- [5] R. Jacob, M.V. Marathe, and K. Nigal, “A computational study of routing algorithms realistic transportation networks,” presented at the Second Workshop on Algorithmic Engineering, NJ, 1998
- [6] H. A. Karimi, “Real-time optimal route computation: a heuristic approach,” ITS J., vol. 3, no. 2, pp. 111-127, 1996
- [7] G. R. Jagadeesh, T. Srikanthan, and K. H. Quek, “Heuristic Techniques for Accelerating Hierarchical Routing on Road Networks”, IEEE Trans. Intelligent Transportation Systems, Vol. 3, No 4, pp.301-309, 2002

저자소개



문 대 진(Dae-Jin Moon)

2002년~현재 동서대학교 멀티미디어 공학전공

※관심분야: 공간 DB, 경로 탐색



조 대 수(Dae-Soo Cho)

2001년 부산대학교 컴퓨터공학과 졸업 (공학박사)

2001년~2004년 ETRI 텔레매틱스 연구단 선임연구원

2004년~현재 동서대학교 컴퓨터정보공학부 조교수
※관심분야: GIS, 공간데이터베이스, LBS, 스트림 데이터처리 등