

# 경로의 직진성을 고려한 턴 휴리스틱 A\* 알고리즘의 구현

문대진, 조대수

동서대학교

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

Dae-Jin Moon, Dae-Soo Cho

Dongseo University

E-mail : wizardyk@nate.com, dscho@dongseo.ac.kr

### 요약

사람이 걸을 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\* 알고리즘에서 맨하탄 거리를 휴리스틱으로 사용할 때와 제안하는 휴리스틱을 이용한 방법으로 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, 방향전환, 휴리스틱, 맨하탄, A\*

## 1. 서론

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 걸을 때와는 달리 차량이 이동할 때 좌회전이나 우턴 등 방향전환이 필요할 경우 교통신호를 받아야 하는 대기시간이 존

재한다. 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. 턴 휴리스틱은 방향전환이 생기는 간선에 대해 가중치를 부여하는 방법으로 경로 직진성을 향상시킬 것으로 기대된다. 방향전환은 좌회전, 우회전, U턴, 직진으로 구분하고, 각각의 방향전환에 따라 서로 다른 가중치를 부여한다.

이 논문에서는 기존의 A\* 알고리즘[1]을 기반으로 턴 휴리스틱을 적용한 알고리즘을 구현하고, 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

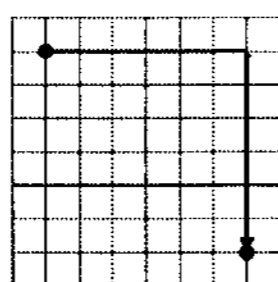
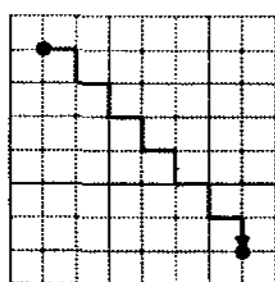
A\* 알고리즘은 가장 널리 사용되는 길 찾기 알고리즘이다. 게임에서 많이 쓰이는 이 방법은 G, H, F 라는 3가지 평가함수와 열린 목록과 닫힌 목록의 두 개의 목록을 사용한다. 이때 G(goal)는 시작노드에서 현재 위치까지 오는 데 드는 비용이고, H(heuristic)는 현재 위치에서 목적지까지 드는 추정 비용이다. F(fitness)는 G와 H값을 합한 값이다. 경로를 탐색할 때 인접한 노드들 중 F값이 가장 최적인 노드를 다음 노드로 선택한 뒤 닫힌 목록에 넣고, 나머지 노드들을 열린 목록에 넣는다. 그리고 이 과정을 목적지를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

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.

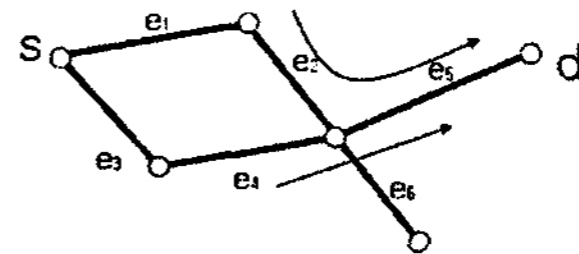


그림 2. 방향전환 예

그림 2에서  $s$ 에서  $d$ 까지의 경로는 다음과 같이 존재 한다.

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

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 간선은 경로상에서의 이전 간선에 대한 방향성에 따라서 가중치를 달리하고, 이를 턴 휴리스틱이라 정의한다.

### 3.3 간선의 방향전환 종류와 판단기준

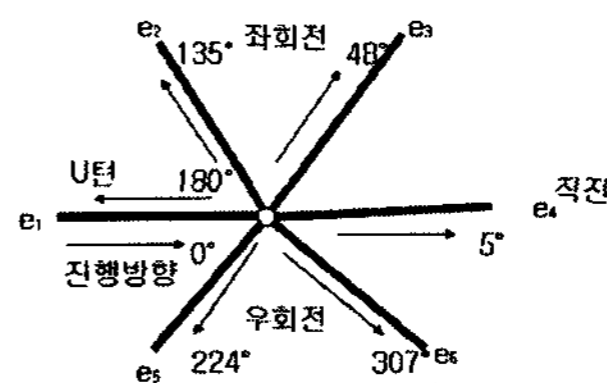


그림 3. 방향전환의 판단

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 3은 각도 정보를 가지는 그래프에서 방향 전환을 판단하는 모습을 나타낸다. 간선  $e_1$ 의 진행방향을 기준으로(각도: 0도) 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

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

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

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

(1)은  $P_{s,d}$ 는 기존의 경로탐색[4]에서 쓰이는 비용모델로 산출된 경로를 구성하는 모든 간선들의 거리의 합이다. (2)는 이 논문에서 제안하는 비용모델로 모든 간선들의 길이와 간선의 방향 전환 가중치의 합이다.

### 3.5 턴 휴리스틱의 구현

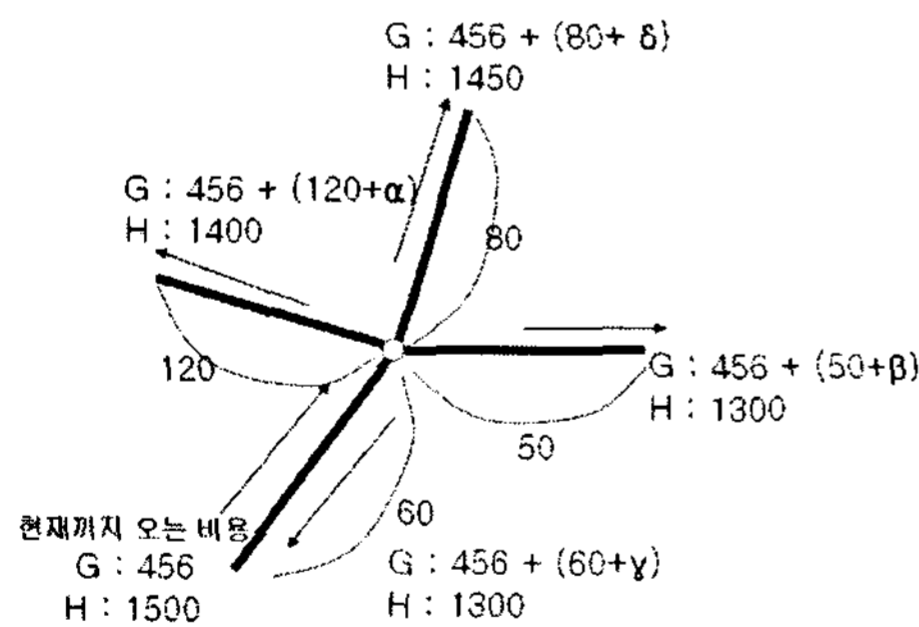


그림 4. 턴 휴리스틱

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][6][7]에서는 H값을 변형시키지만, 제안하는 알고리즘에서는 G값에 변화를 주고 H값은 일반 맨하탄 휴리스틱을 사용한다. 턴 휴리스틱의 방향 전환 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 방향 전환이 생기는 간선에 대해 가중치를 부여하며 이 가중치는 좌회전, 우회전, U턴, 직진 등에 따라 각각  $\alpha, \beta, \gamma, \delta$ 의 다른 수치를 갖는다.

$\alpha, \beta, \gamma, \delta$ 의 가중치 수치는 좌회전과 우회전, U턴시 각각 신호 대기 비율과 속도 감소에 따라 임의로 지정한 대략적인 값이다. 가중치의 값에 따라 경로 탐색의 성능이 달라지겠지만 이 논문에서는 이에 관해 자세히 다루지 않는다. 차후에 이에 관한 연구가 필요하겠다.

## IV. 성능 평가

이 논문에서는 알고리즘의 성능비교를 위해서 시작점과 목표점을 임의로 지정하고, 턴 휴리스틱과 맨하탄 휴리스틱을 사용한 A\* 알고리즘으로 각각 1000회 경로 탐색을 수행하였다.

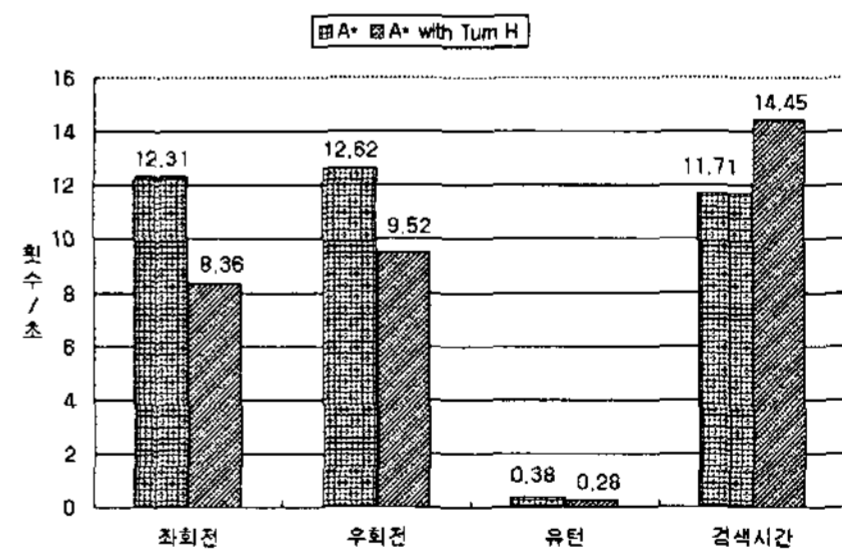
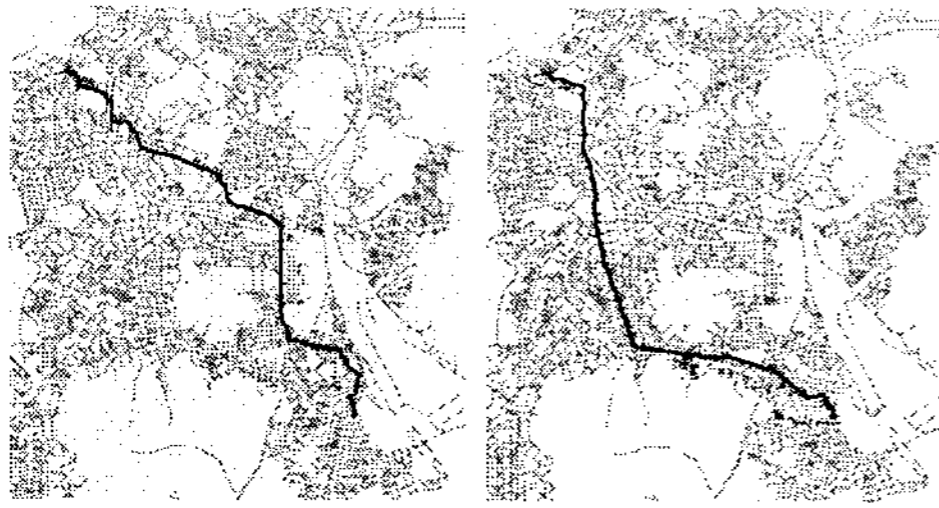


그림 5. 휴리스틱 직진성 비교

그림 5는 탐색된 경로의 방향 전환 횟수와 검색 시간을 평균 수치를 그래프로 나타낸 것이다. 턴 휴리스틱의 방향 전환 횟수가 30%가량 감소한 것을 볼 수 있다. 비록 검색시간이 약간 증가했지만 직진성이 대폭 향상된 것을 알 수 있다. 그림 6은 실제 테스트 중 나왔던 결과로 직진구간이 많아지면서 경로길이가 줄어든 것을 볼 수 있다.



(a) 기존 A\* 알고리즘 (경로길이 : 10,773 m) (b) 턴 휴리스틱 적용 (경로길이 : 8,943m)  
그림 6. 경로 탐색 모습

그림 7은 실험으로 산출된 경로의 길이와 노드접근횟수를 그래프로 나타낸 것이다. 도로 길이는 산출된 경로의 간선들의 길이 합을 나타내는 것이고, 경로길이는 3.4 절에서 제안한 비용모델로 계산된 수치이다. 직진성이 매우 증가했음에도 불구하고, 경로길이 뿐만 아니라 도로 길이도 약간 감소한 것을 볼 수 있다.

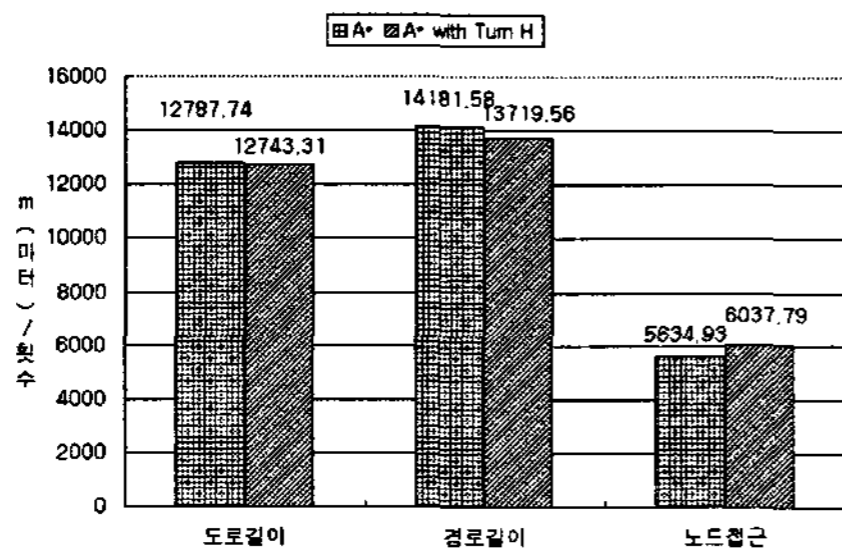


그림 7. 휴리스틱 성능비교

실험 결과에 나타나듯이 노드 접근과 검색시간이 약간 증가 했지만 직진성이 크게 향상하고, 경로의 길이 또한 감소한 것을 볼 수 있다. A\* 알고리즘의 휴리스틱은 고정된 채 G값을 계산할 때 방향전환에 따른 가중치를 부여함으로써 이전보다 최적경로의 접근성을 높였다. 비용모델에 따른 경로길이는 전체적으로 보았을 때 3.3%밖에 향상되었다.

### V. 결론 및 향후과제

이 논문에서 경로의 직진성을 높이기 위해서 방향전환을 고려한 고려한 턴 휴리스틱을 제안하였다. 성능평가 결과 제안된 턴 휴리스틱 기반의 A\* 알고리즘 경로탐색은 기존 A\* 알고리즘보다 방향전환 횟수가 평균 30%가량 감소하여 직진성이 많이 향상되었다. 경로 길이도 평균 3.3%가량 향상됨을 보였으나, 직진성이 향상되는 만

큼 노드접근이 약 6.7% 가량 증가하였다.

향후, 턴 휴리스틱 가중치에 관한 연구가 필요하다. 즉, 교통신호대기 시간비율과 속도감소에 대해 정확한 통계 수치가 필요 하며, 이를 바탕으로 보다 정밀한 가중치부여 방법이 요구된다.

노드접근 횟수를 대폭 감소시키며 준 최적 경로를 탐색하는 계층경로 탐색 알고리즘[5]은 도로에 계층을 두어 경로를 탐색한다. 향후 이 논문에서 제안한 경로탐색 프로그램의 도로에 계층을 두어 계층 탐색을 결합한다면 최적경로에 대한 접근성은 향상되면서 노드접근을 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 추계 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] 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
- [6] 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
- [7] H. A. Karimi, "Real-time optimal route computation: a heuristic approach," ITS J., vol. 3, no. 2, pp. 111-127, 1996