

긴급한 정도의 계산을 통한 에이전트의 유연한 의사결정

강준구^o 이병호 노상욱
가톨릭 대학교 컴퓨터 정보 공학부
{ junkg76^o, canine, sunoh}@catholic.ac.kr

Flexible Decision-Making for Autonomous Agents Through the Computation of Urgency

Jungu Kang Byungho Lee Sanguk Noh
School of Computer Science and Information Engineering
The Catholic University of Korea

요약

주어진 실시간 환경의 복잡성 때문에, 항상 최적의 행동을 수행하는 완벽하게 이성적인 에이전트 (rational agent)의 구현은 실질적으로 가능하지 않다. 이러한 실시간 문제 해결기법에서의 전통적인 접근 방식은 미리 정의된 규약에 의존한 조건-행동 추론 방식이다. 이러한 조건-행동추론 방식은 문제 영역이 다양하거나 문제의 재설계가 필요한 경우에는 아무런 해법을 갖지 못한다. 따라서 이러한 문제점을 해결하기 위해 본 논문에서는 주어진 행동들의 유틸리티를 실시간에 계산하고, 긴급한 정도를 측정하여 상황이 긴급할 경우에는 더 이상의 계산을 중단하고 즉각적인 행동을 취하며, 반면에 상황이 긴급하지 않을 경우에는 최선의 의사결정을 위하여 추가적인 정보를 고려하여 더 바람직한 행동을 결정하는 방법론을 제안한다. 제안한 방법론의 평가를 위하여 시간 제약적인 환경에서 최선의 의사결정을 수행하는 실질적이며 유연한 에이전트를 구현 하고자 한다.

1. 서론

실시간 환경에서 항상 최적의 행동을 수행하는 완벽하게 이성적인 에이전트의 구현은 실질적으로 가능하지 않다. 이러한 실시간 문제 해결기법에서의 전통적인 접근 방식은 미리 정의된 규약에 의존한 조건-행동 추론 방식이다 [1]. 조건-행동 추론방식은 주어진 조건에 빠르게 반응하지만, 문제 영역이 다양하거나 문제의 재설계가 필요한 경우에는 아무런 해법을 가지지 못하는 단점이 있다. 특히, 시스템이 조건-행동에 대한 규약 자체를 실시간 이전에 정의하지 못한다면, 이러한 방식을 사용하는 에이전트들은 동적인 환경에서 어떠한 의사결정도 수행하지 못할 것이다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 실시간 내에 가장 적절한 행동을 계산하는 제한적 최적화 이론이 제안되어왔다 [2].

일반적으로 실시간 환경에서 자율적인 에이전트는 많은 양의 정보 또는 자원을 처리할 수 없기 때문에, 의사결정 (decision-making)을 위하여 유용한 정보를 충분히 검토하지 못하는 경우가 발생한다 [3]. 이와 같이 에이전트가 계산에 필요한 자원들을 모두 포함하여 의사결정을 하지 못할 경우, 어떻게 행동 할 지에 대한 결정이 요구 된다. 따라서 시간 제약적인 환경에서 긴급한 정도 (urgency)에 따라 적절하게 행동하기 위하여, 추가적인 정보를 고려하기 위해 사용하는 계산시간에 대한 비용 (cost of computation)과 추가 정보를 고려하여 얻은 이득 (benefit of computation)에 대한 비교가 필요하다. 복잡한 실시간 환경에서 효율적으로 행동하는 자율적인 에이전트를 구현하기 위해서, 본 논문에서는 주어진 상황에 대한 긴급한 정도를 계산하기 위한 방법론을 제안한다. 구체적으로 제안한 방법론의 평가를 위하여, 실시간 교통 환경에서 긴급한 정도에 따라 적절한 도로를 안내하는 지능형 경로 탐색 시스템을 구현한다.

2. 지능형 경로 탐색 시스템

기존의 디지털 맵을 이용한 항해 시스템 (navigation system)은 경로의 거리나 속도제한 등의 정적인 정보를 제공한다. 이러한 서비스는 사용자가 판단을 내려야 하는 시점의 도로 정보를 사용하기 보다는 기존의 축적된 정보만을 제공하며, 실시간으로 변화하는 다양한 도로 정보를 제공하지 못한다. 다시 말하면, 출발 전에 미리 그 지역의 교통정보를 알고 출발해도 그 정보가 사용자의 판단이 필요한 시점에 여전히 유효한 정보라고 말할 수 없으며, 사용자가 특정한 지역의 지리정보를 전혀 모를 때에는 이런 단순한 교통정보의 제공만으로는 아무런 도움이 되지 못한다. 특히, 위독한 환자를 후송하는 앰블런스나 소방차등은 신속하면서도 정확한 이동을 요구하기 때문에 기존의 길 안내 서비스로는 적합하지 않다. 본 논문에서는 이러한 점을 보완하여, 긴급한 상황에서 경로탐색 서비스를 제공하는 지능형 경로 탐색 시스템을 구현하였다. 본 논문에서 구현한 시스템에서의 도로상황은 교통량이 증가하는 시점 - 출퇴근 시간의 차량 정체 등 - 으로 가정하였다.

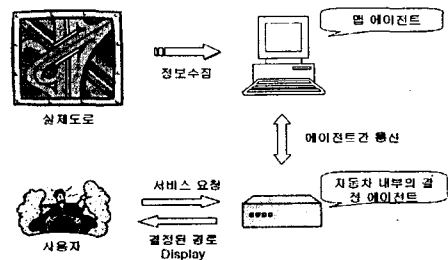


그림 1. 지능형 경로 탐색 시스템의 구성도

그림 1은 지능형 경로 탐색 시스템의 구성을 나타낸다. 주어진 실제 도로 상황에서 맵 에이전트 (map agent)는 자신의 지역에 대한 도로 지도와 정보를 갖고 있으며, 센서를 통해 획득한 정보를 갱신하고 유지한다.

본 논문에서 구현한 시뮬레이션 환경에서는 맵 에이전트가 담당하는 구역을 50×50의 크기를 갖는 격자공간으로 설정하였다. 각각의 격자를 도로라 가정하며, 각 격자마다 0.7~1.0 사이의 단위 거리를 갖는다. 격자 공간에서 시작점과 도착점이 설정되면 그래프 탐색에 의해 시작점부터 도착점까지의 경로를 탐색하고, 그 경로상의 모든 격자가 갖고 있는 거리정보를 합하여 해당 경로의 거리가 결정된다.

결정 에이전트 (decision agent)는 주어진 도로환경에서 긴급한 정도를 고려하여, 차량이 가야 할 최선의 경로를 결정하는 에이전트이다. 사용자가 출발지와 도착지를 지정하면 결정 에이전트는 출발지와 도착지 사이에 위치하고 있는 여러 맵 에이전트들을 확인하고, 그 중에서 어떤 맵 에이전트를 이용하여 목적지까지 갈 것인지 결정한다. 이 결정된 맵 에이전트에게 경로를 요청한다. 이 결정 에이전트는 맵 에이전트로부터 제공받은 경로 정보를 바탕으로 어떤 경로를 선택할 것인지 결정하고, 결정된 경로를 사용자의 화면에 나타내 준다.

3. 긴급한 정도의 계산

일반적으로 정적인 정보에 의해 경로를 선택하는 것은 경로의 거리가 가장 큰 비중을 차지한다. 그러나, 동적인 환경에서의 최적 경로는 경로상의 한 지역에 차량이 증가하면 차량의 평균속도가 떨어지기 때문에 [4], 경로의 길이뿐만 아니라 혼잡한 정도 (traffic congestion)도 고려하여야 한다. 2장에서 언급한 바와 같이, 본 논문에서 가정한 환경에서는 정체구간을 가능한 빠르게 빠져나가는 것이 중요하다. 오래 있으면 있을수록 차량은 더욱 증가하고 이에 따라 이 지역을 빠져나오는데 더 많은 시간이 걸릴 것이다. 결정 에이전트는 하나의 맵 에이전트가 담당하는 지역을 지나서 다음 맵 에이전트가 담당하고 있는 지역에 도착하기 전에 다음 경로에 대한 정보를 얻어와 이를 바탕으로 다음 경로를 결정한다. 이때 의사결정을 하는 에이전트는 가능한 행동들에 대한 정보를 바탕으로 최선의 행동을 실시간에 계산하여 선택한다.

3.1 혼잡한 정도에 대한 확률

어떤 경로 상에서 시각 t_i 에서의 통과시간 (T_i)은 다음과 같다.

$$T_i = \frac{d}{v_i} \quad (1)$$

이때, d 는 해당 경로의 거리이며, v_i 는 t_i 시각의 교통량에 의한 평균 속도를 나타낸다. 시각 t_i 에서 Δt 만큼 경과후의 특정한 경로에 대한 통과시간 ($T_{i+\Delta t}$)은 다음

과 같다.

$$T_{i+\Delta t} = T_i + T(\Delta t) \quad (2)$$

$T(\Delta t)$ 은 Δt 경과후의 교통량 증가로 인한 통과시간의 증가분이다. 통과시간의 증가분 ($T(\Delta t)$)은 다음과 같다.

$$T(\Delta t) = T_i \times P(t_i + \Delta t) \quad (3)$$

$T_i \times P(t_i + \Delta t)$ 는 t_i 시점에서 Δt 만큼의 시간이 흘렀을 때 현재 통과시간에 비해 늘어난 통과시간이다. 여기서 $P(t)$ 는 교통 소통의 원활한 정도를 나타내는 확률함수이고 다음과 같다.

$$P(t) = 1 - e^{-\lambda t} \quad (4)$$

식 (4)에서 λ 는 특정 상수로 실험에서는 0.1로 하였다. 이 확률은 도로상황을 감시하여 교통의 흐름이 시간이 지남에 따라 어떻게 변화하는지를 나타낸다.

결정 에이전트가 하나의 경로에 대한 정보를 얻어와 결정하기까지 걸리는 소요시간 (T_R)은 맵 에이전트의 경로 계산시간 (T_C), 맵 에이전트와 결정 에이전트간의 통신시간 (T_T), 그리고 결정 에이전트가 경로를 결정하기 위하여 사용한 시간 (T_D)을 더하여 얻어진다.

$$T_R = T_C + T_T + T_D$$

시뮬레이션 환경에서 하나의 경로를 정하고 그 경로에 대한 정보를 가져오는 T_C 의 평균 시간은 약 0.192 초로 나타났다.

3.2 성취정도에 대한 프로파일 (Performance Profile)

맵 에이전트의 동작 과정을 바탕으로, 모델링 공간에서의 소요시간 (T_R)과 기대되는 결과의 수준 - 통과시간이 얼마나 단축되는가에 대한 - 을 나타내는 성취정도에 대한 프로파일 (performance profile)을 오프라인 (offline) 상에서 만들었다. 이를 바탕으로 결정 에이전트의 실시간 추론 시간을 줄이며, 에이전트의 실질적인 의사결정을 가능케 한다 [5, 6]. 표 1은 시뮬레이션 환경에서 생성한 성취정도에 대한 프로파일중 하나이다.

표 1. 지능형 경로 탐색 시스템에서의 성취정도에 대한 프로파일

	통과시간(초)	소요시간(초)
Random Policy	10.1061	0.3970
Our Policy_1	10.1178	0.3973
Our Policy_2	9.2436	0.7940
Our Policy_3	8.8559	1.1910
Our Policy_4	8.6071	1.5881
Our Policy_5	8.4249	1.9851
Our Policy_6	8.2998	2.3821
Our Policy_7	8.1967	2.7791

이 표는 통과시간과 각각의 도로의 개수를 고려한 경우의 소요시간을 나타내며, 이때, $T_T = 0.2$ 이다.

임의의 도로 선택 전략 (Random Policy)은 맵 에이전트가 자신이 가진 지도를 바탕으로 임의로 경로를 골라 그 경로에 대한 통과시간을 계산한 것이다. 논문에

서 제안하는 방법을 적용한 전략 (our policy_n, $1 \leq n \leq 7$)은 맵 에이전트에게 n 개의 경로에 대한 정보를 얻어와 그 중에서 가장 통과 시간이 짧은 시간을 선택하여 얻은 값이다. n 이 증가할 때마다 새로 n 개의 경로 정보를 가져오는 것이 아니라, 기존의 $n-1$ 개의 경로에 대한 정보에 하나의 경로를 추가하여 총 n 개의 경로 정보를 바탕으로 계산한 것이다.

3.3 긴급한 정도의 계산을 위한 예상 유틸리티
 긴급한 정도를 측정하기 위하여, 에이전트 성취정도를 통과시간으로 나타내었으며, 식 (5)와 같은 예상 유틸리티 (expected utility) 값의 비교로 표현된다.

$$EU(\alpha^{E+e}, t+t') > EU(\alpha^E, t) \quad (5)$$

식(5)에서 $EU(\alpha^E, t)$ 는 현재 시각 t 에서 E 만큼의 정보를 갖는 사건 α 의 예상 유틸리티이다. 또 t' 은 계산에 추가로 사용된 시간이며, e 는 추가 시간 t' 을 사용하여 얻어지는 추가 정보이다. 결정에이전트는 성취정도에 대한 프로파일을 바탕으로 t' 만큼의 시간을 사용해 얻은 예상 유틸리티가 현재의 예상 유틸리티 보다 좋으면 (식 (5)의 경우), 현재보다 더 좋은 수행도를 얻기 위해 t' 만큼의 시간을 사용하여 추가정보를 얻어온다. 반면에, 에이전트가 t' 만큼의 시간을 사용해 얻은 예상 유틸리티가 현재 유틸리티보다 작으면 - 다시 말해서, 계산에 의한 이득 보다 계산 비용이 더 크다고 판단하면 - 더 이상의 추가 정보를 얻지 않는다. 이 경우, 더 이상의 추가정보를 고려하지 않고, 현재까지의 정보를 바탕으로 사용자에게 보여줄 경로를 결정하게 된다.

4. 실험 결과

본 논문에서 수행한 실험의 목적은 지능형 경로 탐색 시스템의 성취정도를 분석 및 평가하는 것이다.

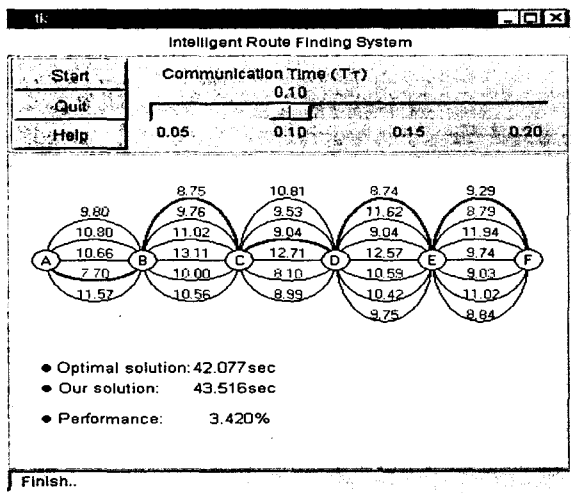


그림 2. 지능형 경로 탐색 시스템 실제화면

그림 2는 지능형 경로 탐색 시스템의 실제 화면을 보여준다. 그림에서 (A), (B), ... 는 노드 (실제 도로에서 주요한 교차점이나 갈림길)를 나타내며, 노드 사이의 선들은 각각의 경로들이다. 경로에 표시된 숫자는 그 경로를 통과하는데 걸리는 예상시간이며, 빨간색으로 표시된 시간이 각 경로의 최적 값이다. 1000번의 반복 실험을 통해 통신시간 (T_T)에 따라 고려한 길의 수와, 최적의 경로 값과 얼마만큼의 오차가 생기는지에 대한 성취도의 평균 적인 값을 그림 3에 나타내었다.

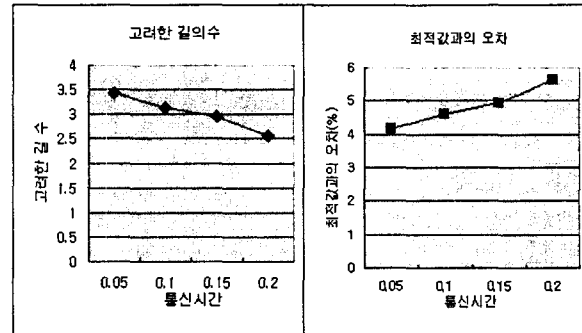


그림 3. 통신시간의 변화에 따른 고려한 길의 수와 수행오차

본 논문의 실험에서 통신시간(T_T)이 적을수록 고려한 길의 수가 늘어나는 것을 확인 할 수 있다. 이것은 통신시간이 짧아지면 예상 유틸리티를 계산하는데 드는 비용이 줄어들기 때문이다. 통신시간이 0.05sec. 일 때, 1000번의 반복실험을 통하여 고려한 길의 평균 개수는 3.502개 이었으며, 긴급한 정도를 고려하여 선택한 경로의 통과시간은 최적경로 보다 평균 3.967(%) 더 소요되었다. 고려한 길의 수가 많아질수록 최적의 경로를 선택할 가능성이 높기 때문에 최적 값과의 평균 수행오차도 작아지는 경향을 보였다.

5.참고문헌

- [1] Agre, P.E. and Chapman, D., Pengi: An implementation of a theory of activity, In Proceedings of AAAI, pp. 268-272, 1987.
- [2] Russell, S.J., Rationality and Intelligence, AI, Volume 94, pp. 57-77, 1997.
- [3] Horvitz, E., Ruokangas, C., Srinivas, S., A decision-theoretic approach to the display of information for time-critical decisions: the vista project, 1995
- [4] D. Schrank and T. Iomax. The 2001 Urban Mobility Report, Texas Transportation Institute, TR, 2001.
- [5] Noh, S. and Gmytrasiewicz, P.J., Rational Communicative Behavior in Anti-Air Defense, In Proceedings of ICMAS, pp. 214-221, 1998.
- [6] Noh, S. and Gmytrasiewicz, P.J., Identifying the Scope of Modeling for Time-Critical Multiagent Decision-Making, In Proceedings of IJCAI, pp. 1043-1048, 2001.