

멀티 에이전트 환경에서 동적 요구를 위한 그래프 기반 서비스 스케줄러

이상민¹, 이창호², 박정민³

¹홍익대학교 컴퓨터공학과,

²한양대학교, 컴퓨터소프트웨어학과

³한국과학기술연구원 지능로봇연구단

newmin0119@gmail.com, changholee@hanyang.ac.kr, pjm@kist.re.kr

Graph-Based Service Scheduler for Dynamic User Requirements in Multi-Agent Environments

Sang-Min Lee¹, Chang-ho Lee², Jung-Min Park³

¹Dept. of Computer Engineering, Hong-ik University

²Dept. of Computer and Software, Hanyang University

³Center for Intelligent & Interactive Robotics, Korea Institute of Science and Technology

요약

다양한 형태의 다수 에이전트가 서비스하는 환경에서 사용자가 요청하는 서비스 명령은 단순할수록 사용성이 좋다. 하나의 서비스는 다양한 로봇이 유기적으로 수행해야 하며, 사용자가 서비스 명령에 대해 요구사항을 추가하면 이를 다수 로봇이 적절하게 처리하는 방법이 필요하다. 본 논문에서는 사용자가 요청한 서비스에 대해 로봇의 동작은 노드로, 동작 간의 관계는 에지로 표현하고 이를 통해 스케줄링 하는 방법론을 제공한다. 실험 결과, 다수 로봇 환경에서 사용자의 요구사항을 동적으로 대응하며 효율적으로 서비스가 수행됨을 확인하였다.

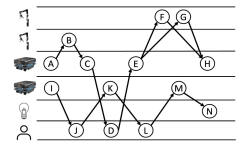
1. 서론

멀티 에이전트 환경에서 작업 스케줄링에 관한 기존 연구는 제조 공정 프로세스[1][2]나 이동 경로의 단축[3]과 같이, 수행 비용의 최적화 측면에서 이루어졌다. 사무실이나 집과 같은 일상생활 환경에서 로봇이 서비스를 제공하려면 여러 작업을 특정한 순서로 수행하거나, 하나의 서비스를 여러 로봇이 유기적으로 수행할 필요가 있다. 이때 동작 간에 수행 순서가 존재하므로 의존관계가 발생한다. 또한 사용자의 실시간 요청이 있는 경우, 여러 작업 간의 관계가 변경되므로 이에 적합한 스케줄러가 필요하다. 이를 위해 관계를 나타내기 적합한 그래프를 활용하여 해결한 연구[2][4]는 하나의 복잡한 작업에 대해서만 처리하므로 다수의 실시간 요청에 맞게 스케줄을 재조정하기 어려웠다. 본 연구에서는 사용자의 동적인 요구사항에 적합하게 다수 로봇이 작업을 수행하도록 그래프 기반 스케줄러를 제안한다.

2. 서비스의 그래프적 접근

서비스는 사용자의 새로운 작업 요청이나 기존 작업들에 대한 요구사항을 의미한다. 스케줄링 결과는 에이전트에게 할당된 동작과 의존관계의 집합으로 이루어진 멀티 그래프의 형태로 표현한다. (그림 1)

작업	동작	에이전트	일
Move Object	A. Pick and Place	Manipulator	(A)
Move Object	A. Move to Object	Mobile Robot	
	B. Pick & Place Object	Manipulator or Human	
	C. Move to Destination	Mobile Robot	
	D. Pick & Place Object	Manipulator or Human	
	E. Wait	Mobile Robot	
Light On	A. Turns on the Light	Light Agent	(A)
Light Off	A. Turns off the Light	Light Agent	(A)



<표 1> 작업, 동작, 일 (그림 1) 스케줄링 결과 작업은 "불을 켜라.", "컵을 가져와라(특정 위치로 옮겨라)." 등의 사용자 요청을 의미한다. 이러한 작업은 수행하는데 필요한 기본 단위인 동작으로 나뉘며, 동작 수행에 필요한 정보(동작 시작 위치, 동작 종료 위치, 이전 수행 동작 등)를 포함한다. 이때, 동작 간의 수행 순서를 의존관계로 정의하여, 그래프의 에지로 표현하였다. 서로 다른 일의 동작에서도 의존관계가 발생할 수 있다. 여기서 일은 사용자가 요청한 하나의 작업에 대한 단위 표현으로, 하나 이상의 동작(노드)과 동작 간의 의존관계(에지)를 가지는 방향 그래프로 나타낸다. <표 1>

3. 서비스 스케줄링 방법

3.1 명령 처리

본 연구에서 사용자의 작업에 대한 요구사항은 크게 다섯 가지 즉, 새로운 작업의 요청, 기존 작업의 취소, 기존 작업의 수행순서 변경(함께수행, 선수행, 후수행)이다. 이 단계에서 실행가능 여부와 오류 여

부를 파악하고, 사용자의 요구사항을 그래프로 처리하고, 동작의 할당이 필요한 일들을 할당 필요 목록에 삽입한다.

작업 요청은 새로운 작업 요청 작업의 종류와 내용을 확인하여, 일의 그래프로 변환한다.

작업 취소의 경우, T_i 에 해당하는 노드와 의존관계를 삭제한 후, T_i 를 포함하는 일이 2개 이상의 작업을 포함한다면, 의존관계를 재조정한다.

함께수행은 두 가지 이상의 작업을 동시 수행하도록 하나의 동작으로 처리가 가능한 동작의 쌍을 판별하고 동작의 예상 수행 비용을 최소화하는 하나의 그래프로 합병한다.

선수행은 한 작업이 다른 특정 작업보다 먼저 수행되도록, 선행하는 일과 후행하는 일의 소스 노드 간의 의존관계를 추가한다.

후수행은 한 작업이 특정 작업종료 후 수행되도록, 선행 일의 싱크 노드에서 후행 일의 소스 노드로 의존관계를 추가한다.

3.2 동작 할당

에이전트의 동작 수행을 위한 동작 할당은, 의존관계를 고려한 위상정렬을 통해 최종적으로 결정되며 동작을 수행할 최적의 에이전트 큐에 동작을 삽입한다. 최적의 에이전트는 에이전트의 동작 종료 시, 위치나 상태를 고려하여 결정되고, 같은 에이전트에서 수행해야 할 동작이 있다면 선행 동작이 할당된 에이전트에게 할당된다.

3.3 동작 수행

에이전트에 할당된 첫 번째 동작 노드에 대해 의존관계가 없는 동작이면 에이전트는 해당 동작을 수행한다. 동작 종료 시, 연결된 의존관계를 삭제한다.

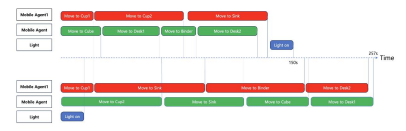
4. 결과

제안하는 스케줄러를 평가하기 위해 두 대의 모바일 로봇과 조명을 에이전트로 구동하는 가상현실 오피스 환경을 구축하였다. 시뮬레이션 환경은 OpenGL과 Bullet Physics 라이브러리를 통해 구현하였다. Unity를 이용하여 사용자 인터페이스를 위한 VR 환경을 구현한 후, TCP 통신으로 다수 에이전트가 구동되도록 가상현실 오피스 환경으로 실시간으로 전달하였다.(그림 3, 그림 4)

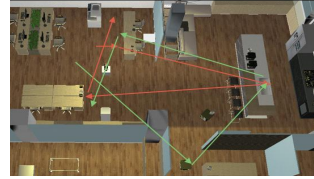
<표 2>의 시나리오를 구성하여 사용자가 이미 요청한 작업에 대한 동적 변경이 불가능한 기존의 스케줄러와 동적 변경이 가능한 제안하는 스케줄러의

Service	Property	Description
S1	작업 요청	T1: Move Cup1 to Sink
S2	작업 요청	T2: Move Cup2 to Sink
S3	함께 수행	T1 and T2
S4	작업 요청	T3: Move Binder to Desk2
S5	작업 요청	T4: Move Cube to Desk1
S6	먼저 수행	T4 before T3
S7	작업 요청	T5: Turn Light On
S8	이후 수행	T5 after T3

<표 2> 시나리오



(그림 2) 수행 결과



(그림 3) 기존 스케줄러 수행



(그림 4) 제안하는 스케줄러 수행

결과를 비교하였다. 제안한 방법은 ‘함께수행’을 적절하게 수행하여 모바일 로봇의 동작의 총 수행시간은 41.6% 감소하였다.(그림 2) 또한 기존 방법은 작업 순서를 변경하는 S_6 , S_8 서비스가 불가능한 반면(그림 3), 제안한 방법은 조명을 켜는 작업(T_5)을 바인더를 목적지에 가져다 놓은(T_3) 이후에 수행함을 보임으로써 S_8 이 제대로 수행함을 확인하였다.(그림 4).

5. 결론

본 연구를 통해 다중 에이전트 환경에서 사용자의 요구사항에 적합하게 대응하면서 서비스를 수행함을 확인하였다. 향후, 실제 로봇 시스템과 연동하는 실험을 수행할 예정이다.

6. 참고 문헌

[1] Kumar, Shitij, Celal Savur, and Ferat Sahin, "Survey of human-robot collaboration in industrial settings: Awareness, intelligence, and compliance." IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems 51.1 (2020): 280-297.

[2] L. Johannsmeier and S. Haddadin, "A Hierarchical Human-Robot Interaction-Planning Framework for Task Allocation in Collaborative Industrial Assembly Processes," IEEE Robotics and Automation Letters, vol. 2, no. 1, pp. 41-48, Jan. 2017.

[3] Chakraa, Hamza, et al. "Optimization techniques for Multi-Robot Task Allocation problems: Review on the state-of-the-art." Robotics and Autonomous Systems (2023): 104492.

[4] M. Ionova, "Uncertainty-aware Human-Robot Collaboration using scheduling and reactive control," Master's thesis, Czech Technical Univ. in Prague, May 2023.