

인간 친화적 로봇 상호작용을 위한 집사 로봇의 작업 관리 시스템

A Task Planning System of Steward Robot for Human-friendly Human-Robot Interaction

김용휘, Yong-Hwi Kim*, 이형욱, Hyong-Euk Lee*, 김현희, Heon-Hui Kim**,
박광현, Kwang-Hyun Park*, 변증남, Zeungnam Bien*
*한국과학기술원 전기및전자공학과, **인간친화복지로봇센터

요약 한국과학기술원 인간친화복지로봇 연구센터에서 개발 중인 ISH(Intelligent Sweet Home)는 다양한 서비스 로봇 및 인간-기계 인터페이스(HMI: Human-Machine Interface)를 통해서 노약자 및 장애인의 일상 생활을 도와 줄 수 있는 지능형 주거 공간이다. ISH에서는 홈네트워크를 통해 연결된 가전 기기 및 환경 정보 취득이 가능한 센서 장비, 그리고 지능형 침대, 휠체어, 이동 보조 로봇 등이 거주자가 독립 생활을 영위할 수 있도록 여러 가지 서비스를 제공한다. 하지만 노약자 및 장애인의 관점에서 서비스 양의 증가뿐만 아니라, 이를 쉽고 편하게 운용할 수 있는 서비스 질의 측면 또한 중요하게 고려하여야 한다. 이러한 이유 때문에, ISH에서는 집사 로봇(steward robot)의 개념을 도입하여 거주자와 복잡한 시스템의 효율적인 매개체로 사용하고 있다. 사용자의 편의를 추구하기 위한 공학적인 접근방법 중의 하나로, 본 논문에서는 집사 로봇의 작업 계획 기능에 대해서 설명하도록 한다. 작업 계획 시스템을 이용하여, 집사 로봇은 사용자의 상위 레벨 명령을 해석하여 각 로봇 또는 제어 가능 개체들을 제어하게 된다. 제안하는 시스템은 STRIPS(Stanford Research Institute Problem Solver) 상태 표현 방법과 그래프계획(Graphplan) 방법에 기반하여 작업 계획을 수행한다. 또한 작업 계획 속도를 증가 시키기 위하여 공간 추상화(world abstraction)와 하위 목표 계획(subgoal planning)의 개념을 적용하였다. 그리고 ISH에서 정의된 시나리오를 이용한 상위 레벨 명령을 통해 제안된 시스템의 효율성을 검증하도록 한다.

핵심어: 작업 계획, 그래프계획, 공간추상화, 하위 목표 계획, 서비스 로봇, 스마트 홈

1. 서론

첨단 기술의 발전과 더불어 인간의 삶의 질을 높이기 위한 스마트 홈(Smart home)에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 콜로라도 대학의 Adaptive house[1], 마이크로소프트의 Easy-living[2], MIT의 House of the future[3] 등이 대표적인 예이다. 이러한 스마트 홈은 사용자에게 다양한 서비스를 제공하기 위하여 각종 주변 장치와 지능형 가전기기, 홈 로봇 등을 갖추고 있으며, 여러 가지 센서를 통해 사용자의 행동이나 건강 상태를 모니터링한다.

노약자나 장애인의 경우에는 신체적인 제약 때문에 주거 공간 내에서의 자율적인 이동과 행동에 불편함과 어려움을 느낀다. 이를 위하여 최근의 스마트 홈 연구는 노약자 및 장애인을 대상으로 하여 독립적인 생활을 보장하기 위한 시도가 많아지고 있다. 지능형 휠체어 및 이동기의 개발은 이러한 노력의 하나라 할 수 있다.

국내에서도 스마트 홈에 대한 연구가 활발히 진행되고 있는데, 한국과학기술원 인간친화 복지 로봇시스템 연구센터의 지능형 주거공간 ISH가 대표적이다[4][5]. ISH는 노약자

와 장애인의 독립적인 생활을 돕기 위해 지능형 침대, 지능형 휠체어, 이동기(robotic hoist), 손 동작 기반 인터페이스, 건강 모니터링 장치를 포함하고 있다(그림 1).

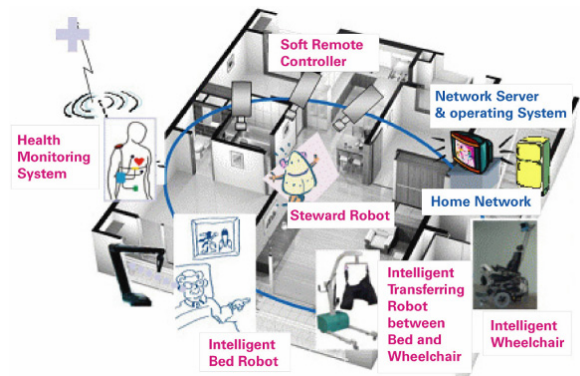


그림 1. ISH의 구조

집사 로봇 조이(JOY)[6]는 주거 공간내의 작업들과 인간 사이의 매개체 역할을 한다. 주거 공간에는 사용자에게 다양

한 서비스를 제공하기 위하여 더 많은 장치가 존재한다. 그러나 장치들이 증가할수록 사용자가 모든 장치를 제어하기 매우 어려워졌다. 특히 노약자와 장애인의 경우 신체적인 문제로 인하여 더욱 어려움을 느낀다[7]. 때문에 인간 친화의 개념이 중요한데, 집사 로봇 조이는 이를 얻기 위하여 학습 능력과 감정 표현 능력을 가지고 있다. 학습 능력은 사용자의 행동 패턴과 서비스 선호도를 얻어내고, 사용자에게 개별화된 서비스를 제공하기 위하여 사용된다. 또한 인간 친화 상호 작용을 위하여, 조이는 자신의 감정 상태를 팔과 눈동자 등을 이용하여 표현한다.

ISH의 작업은 크게 두 가지로 나눌 수 있다. ‘하위 단계 작업(low level task)’은 사용자에게 의해서 직접 하나의 목표 장치를 제어할 수 있는 작업이다. 이에 비하여 ‘상위 단계 작업(high level task)’은 여러 장치를 미리 정의된 순서에 따라 제어를 하는 작업이다. 예를 들어 ‘TV를 켜라’, ‘휠체어를 움직여라’와 같은 작업 들은 사용자가 장치를 직접 제어가 가능하다. 그러므로 이들은 하위 단계 작업에 속한다. 하지만, ‘외출 준비’, ‘취침 준비’와 같은 작업은 여러 장치들의 협력이 필요하다. 때문에 이들은 상위 단계 작업에 속한다.

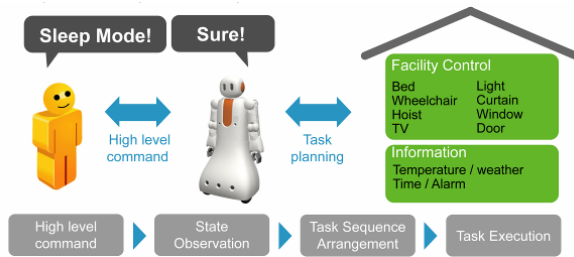


그림 2. 집사 로봇 조이의 역할

그러나 ISH는 많은 로봇과 장치를 가지고 있는 협소한 공간이다. 그러므로 상위 단계 작업 수행 시 하나의 장치가 작업을 수행할 때 다른 장치의 작업 수행을 방해하는 경우가 발생한다. 따라서 조이는 추가로 장치 관리, 상위 단계 작업 계획 및 수행 능력을 소유하여야 한다(그림 2).

사용자가 상위 단계 작업 중 외출 준비 작업을 요청하면, 이동기가 사용자를 침대에서 휠체어로 옮기고, 여러 가전 제품의 전원을 차단한다. 현재 ISH에서는 위와 같은 과정을 개발자가 미리 정의하여 고정시켰다. 이러한 경우 환경의 변화에 대처하거나 정의되어 있는 작업 순서에 새로운 작업을 추가시키기 매우 어렵다. 따라서 작업 계획은 조이의 상위 단계 작업 수행에 매우 중요한 부분을 차지한다.

본 논문에서는 STRIPS 표현법과 그래프계획에 실시간 작업 계획 시스템을 위하여 공간 추상화(world abstraction)와 하위 목표 계획(subgoal planning)을 이용한다. 그리고 ISH에서 장애인의 자유로운 이동을 위한 외출 준비 작업을 위하여 조이의 작업 계획 시스템을 구성하고, 그 효용성을 설명한다.

2. 배경 지식

2.1 STRIPS 표현[8]

STRIPS 계획법은 1971년 Fikes에 의해 제안된 계획법이다. 이 방법에는 다음과 같은 기호법을 따르고, 이를 ‘STRIPS 표현’이라 명명한다[9].

- 1) 인스턴스(**I** : Instance),
- 2) 술어(**P** : Predicate),
- 3) 연산자(**O** : Operator),
- 4) 초기 상태 집합(**S** : Initial state set),
- 5) 목표 상태 집합(**G** : Goal state set)

먼저 인스턴스는 정의된 환경 내에 존재하는 뚜렷한 물체를 의미한다. 예로 들면, 침대, 사용자, 텔레비전 등이 이에 속한다. 술어는 인스턴스에 대한 특징 및 설명을 나타낸다. 예를 들어, 사용자가 침대 위에 있는 상태를 나타내면 {on(User, Bed)}와 같다. 여기서 on은 술어로써, 사용자와 침대 사이의 관계를 나타낸다. 연산자는 주거 공간에 존재하는 하위 단계 작업을 나타낸다. 본 논문에서는 연산자와 하위 단계 작업 사이의 사용의 혼란을 피하기 위하여 하위 단계 작업으로 용어를 설명한다. 하위 단계 작업은 다음과 같은 요소를 가진다.

- 1) 선행 조건(precondition): 하위 단계 작업이 수행 직전에 충족하여야 하는 선행 조건
- 2) 제거 효과(del effects): 하위 단계 작업이 현재 상태에서 삭제하는 상태
- 3) 추가 효과(add effects): 하위 단계 작업이 현재 상태에서 추가하는 상태

STRIPS 표현에서 하위 단계 작업은 현재 환경을 다른 환경으로 변화 시키는 역할이다. 따라서, 작업 계획은 “초기 상태 집합에서 목표 상태 집합으로 상태 천이를 일으키는 하위 단계 작업의 순서를 얻어내는 방법”으로 정의할 수 있다.

2.2 그래프계획[10]

그래프계획은 계획 그래프 분석(planning graph analysis)를 기반으로 작업 순서를 찾는 방법이다. 계획 그래프에는 상태 변화 분석과 제약 조건(constraint)이 있어 작업 순서 탐색의 양을 크게 줄일 수 있다.

계획 그래프에는 두 가지의 노드(node)가 존재한다. 명제(proposition) 노드는 다양한 상태들의 집합으로 이루어져 있다. 행동(action) 노드는 하위 단계 작업들의 집합으로 이루어져 있다. 이에 따라 계획 그래프는 두 명제 노드 사이의 상태 천이를 나타내고, 이를 구성하는 행동 노드는 상태 천이를 발생시키는 하위 단계 작업들의 집합이다(그림 3). 따라서

계획 그래프는 초기 상태 집합으로부터 목표 상태 집합을 얻기 위하여 어떠한 하위 단계 작업이 필요한지 쉽게 알 수 있다.

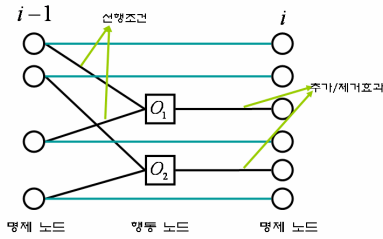


그림 3. 계획 그래프

또한 계획 그래프에는 제약 조건으로 그래프 노드 사이에 다음의 2가지의 상호 배제(mutual exclusion) 관계가 존재한다. 이러한 상호 배제 관계가 성립하면 두 하위단계 작업은 동시에 실행할 수 없다.

- 1) 방해(interference): 하위 단계 작업 A가 다른 하위 단계 작업 B의 선행 조건이나 추가 효과를 제거
- 2) 경쟁 필요(competing need): 하위 단계 작업 A의 선행 조건이 다른 하위 단계 작업 B의 선행 조건과 양립할 수 없음

계획 그래프를 이용하여 작업 순서를 탐색하기 위하여 역방향 탐색 알고리즘(backward search algorithm)을 사용한다. 이 방법은 목표 상태 집합으로부터 초기 상태 집합을 얻을 수 있도록 하위 단계 작업의 순서를 정하는 방법이다. 그림 4는 역방향 탐색 알고리즘의 과정을 나타낸다[11].

```

if n < 1
    then return failure
if S ∈ mutual exclusion
    then return backtrack
if S ⊂ I
    then return plan
while unexplored combinations of actions still remain
    A ← ∅
    while p ∈ S
        nondeterministically choose a ∈ A
        such that a has p as an add-effect.
    next S ← {∪ regress(S, a) | a ∈ A}
    solution ← Backward_Search(next S, n-1)
if solution
    then return solution
end
return failure
    
```

그림 4. 역방향 탐색 알고리즘의 과정

2.3 공간 추상화 [12]

기존의 그래프계획은 ISH에 직접 적용 시 많은 계산 시간을 소요한다[13]. 이는 하나의 상태를 추가 효과로 가지는 하위 단계 작업이 다양하게 존재하는데, 그래프계획은 이 중

무작위로 작업을 선택하여 계획하기 때문이다. 특히 그림 5의 이동에 대한 작업 명령은 다음과 같은 STRIPS 표현을 따른다. 하지만 다음과 같이 입력 인자를 가진 하위 단계 작업의 경우 계획을 위해서 가능한 모든 경우를 고려하여 하위 단계 작업을 구성하여야 한다.

```

Go (robot) (x location) (y location)
precondition {at (robot, x)}
del {at (robot, x)}
add {at (robot, y)}
    
```

그림 5. 하위 단계 작업 명령의 예('이동' 작업)

이 경우 로봇이 14곳의 노드에 위치 가능한 경우, 하나의 노드에서 13곳의 다른 노드로 이동 가능하다. 따라서 하나의 노드에 전체 13개의 하위 단계 작업이 만들어진다. 따라서 하나의 노드로 움직일 경우 13개의 하위 단계 작업 중에서 그래프계획 계획자는 무작위로 선택하여 효율성을 떨어뜨린다. 공간 추상화는 이러한 문제를 해결할 수 있는 방법이다.

공간 추상화는 N개의 계층으로 전체 공간의 계층화를 하였다. 즉, 여러 개의 위상 노드를 묶어 상위 계층으로 만들고, 그 상위 계층의 노드를 묶어 보다 상위 계층을 형성한다. 이를 반복하면 트리와 같은 구조로 만들 수 있다. 따라서 전체적으로 적은 수의 상위 계층 노드로 계층화가 가능하다. 공간 추상화를 그래프계획에 적요하면, 상위 계층에서부터 계획을 먼저 실행하고, 불필요한 상위 노드를 제거해 나가면, 계산량을 줄일 수 있다.

2.4 하위 목표 계획법

하위 목표(subgoal)란 작업 계획 시스템에서 최상위 단계의 목표를 구성하는 세부 사항의 집합이다. 따라서 전체 목표를 각 하위 목표로 나누고, 각 하위 목표 상태를 형성할 수 있는 작업 순서를 얻고, 이를 합치는 방법을 생각할 수 있다. 이를 하위 목표 계획법[14]이라 한다. 그림 6은 하위 목표 계획법의 예를 나타낸 그림이다. 작업 계획 시스템에서 다음과 같이 여러 개의 하위 목표로 나누어 계획 알고리즘을 적용할 경우, 계산 시간과 복잡도가 감소한다[14].

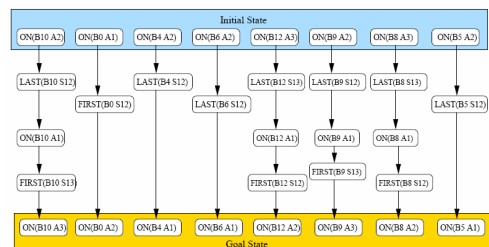


그림 6. 하위 목표 계획법의 예

그러나 전체 목표 상태 집합을 하위 목표로 나눌 때, 각 하위 목표는 항상 독립적(independent)이어야 한다. 만약 상호 의존하는 하위 목표가 존재할 경우 원하는 작업 순서를

얻을 수 없다. 따라서 상호 의존하는 하위 목표는 하나의 세부 문제로 나누고, 독립적인 하위 목표는 다른 세부 문제로 나눌 수 있는 방법이 필요하다.

3. 집사 로봇을 위한 작업 계획 시스템

3.1 하위 단계 작업의 정의

ISH에서 외출 준비 작업을 계획하기 위하여, 하위 단계 작업을 STRIPS 표현에 의하여 정의하여야 한다(표 1). 하위 단계 작업 '이동'은 x위치에서 y위치로 로봇을 이동시키는 작업이다. '사용자 올림' 작업은 사용자를 침대에서 이동기로 이동시키는 작업이다. '사용자 내림' 작업은 사용자를 이동기에서 휠체어로 이동시키는 작업이다. '전원 켜/끄' 작업과 '커튼 닫음/열음' 작업은 해당 장치의 전원에 관련한 작업들이다

한글 명칭	영문 명칭	선행 조건	추가 효과	제거 효과
이동	Go (robot) (x location) (y location)	at(robot, x)	at(robot, y)	at(robot, x)
사용자 올림	Pick up the user	on(user, Bed) at(RH, P11)	on(user, Bed)	on(user, Bed)
사용자 내림	Put down the user	on(user, RH) at(RH, P7) at(Wheelchair, P7)	on(user, Wheelchair)	on(user, RH)
전원 켜	Turn on (device)	off(device)	on(device)	off(device)
전원 끄	Turn off (device)	on(device)	off(device)	on(device)
커튼 닫음	Open the curtain	close(Curtain)	open(Curtain)	close(Curtain)
커튼 열음	Close the curtain	open(Curtain)	close(Curtain)	open(Curtain)

표 1. 정의된 하위 단계 작업

3.2 상위 단계 작업의 예

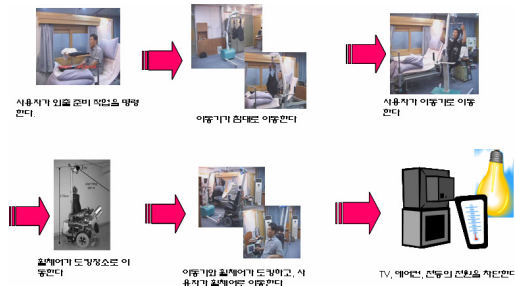


그림 7. 외출 준비 작업의 순서

외출 준비 작업은 ISH에서 대표적인 상위 단계 작업이다. 외출 준비 작업은 다음의 순서로 미리 정의할 수 있다: 1) 이동기가 지능형 침대로 이동한다, 2) 사용자는 침대에서 이동기로 이동한다, 3) 휠체어와 이동기가 도킹 장소로 이동한다, 4) 이동기는 도킹 후, 사용자를 휠체어로 이동시킨다, 5) 가전 제품의 전원을 차단한다 6) 이동기는 원래 위치로 돌아간다(그림 7).

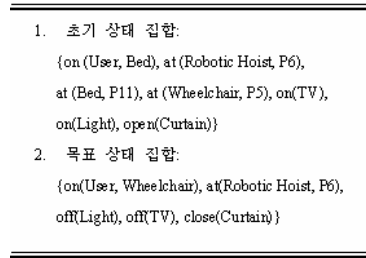


그림 8. STRIPS 표현을 이용한 외출 준비 작업

집사로봇 조이는 여러 센서들을 이용한 환경 정보와 각 하위 단계 작업들의 정보를 이용하여 작업을 계획한다. 따라서 개발자는 상위 단계 작업을 수행할 때 얻을 수 있는 목표 상태 집합을 집사로봇 조이에게 알려준다. 또한, STRIPS 표현의 관점에서 작업 계획은 초기 상태 집합과 목표 상태 집합의 상태 차이로 생각할 수 있다. 따라서 외출 준비 명령을 STRIPS 표현으로 요약하면 그림 8와 같다.

3.3 하위 목표 계획에 의한 최종 목표 분할

하위 목표 계획 시스템에서 각 하위 목표 간의 의존도를 파악하는 것은 매우 중요한 문제이다. 만약 두 하위 목표가 상호 의존할 경우, 이들은 같이 계획 알고리즘을 수행하여야 한다. 그림 10은 ISH에서 상호 의존하는 계획 문제의 예이다.

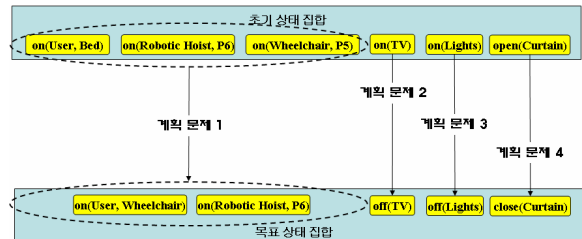


그림 9. 상호 의존하는 계획 문제의 예

그림 9은 ISH에서 사용자를 침대에서 휠체어로 이동시키기 위한 계획 문제로 하위 목표 상태 {on(User, Wheelchair)}를 얻기 위하여 '사용자 내림' 작업을 수행하여야 한다. 이 때, 표 1에서 정의된 것과 같이 이 작업의 선행 조건은 {on(User, Robotic hoist), at(Robotic hoist, P7), at(Wheelchair, P7)}이다. 그러나 하위 선행 조건 {at(Robotic hoist, P7)}는 다른 하위 목표 {at(Robotic hoist, P6)}와 같이 양립할 수 없다. 따라서 위의 {on(User, Wheelchair)}와 {at(Robotic hoist, P6)} 사이에는 상호 의존 관계가 성립한다. 이러한 경우, 최종 목표 상태 집합의 분석만으로 그 상호 의존 관계를 파악이 가능하다. 이 경우 다음과 같은 분석법을 사용하였다.

상호 의존 관계가 성립하는 경우는 크게 두 가지로 생각할 수 있다. 먼저 두 개의 하위 목표들 사이에 상호 배제 관계가 성립하는 경우이다. 이 경우 각 하위 목표를 얻을 수 있는 하위 단계 작업들의 조건들이 서로 충돌을 일으키므로, 이는 독립적인 목표로 간주할 수 없다. 두 번째로 하나의 하

위 목표를 얻을 수 있는 하위 단계 작업 들의 수행 시, 다른 하위 목표를 추가로 얻을 수 있는 경우, 두 하위 목표 사이에는 상호 의존 관계가 성립한다. 즉, 하나의 하위 단계 작업 수행으로 두 가지의 하위 목표들을 달성이 가능하면, 하위 목표로 나누어서 계획할 필요가 없다. 이들 두 사항을 정리하면 다음과 같다.

- 1) o_i 의 제거 효과와 g_j 가 같음
- 2) o_i 선행 조건이 o_j 의 제거 효과와 같음
- 3) o_i 의 추가 효과가 g_j 와 양립 불가능
- 4) o_i 의 선행 조건과 o_j 의 선행 조건이 양립 불가능
- 5) o_i 의 추가 효과가 g_j 와 같음

* 기호

g_i : i번째 하위 목표($i=1, \dots, n$, n: 하위 목표의 수)

g_j : j번째 하위 목표($j=1, \dots, n$, n: 하위 목표의 수)

o_i : 하위 목표 g_i 를 해결하는 하위 단계 작업

o_j : 하위 목표 g_j 를 해결하는 하위 단계 작업

따라서 작업 계획에서 위의 5가지 조건을 고려한 후 독립적인 하위 목표 집합으로 나누고, 각 하위 목표 집합을 해결하기 위하여 그래프계획 알고리즘을 수행한다. 그리고, 각 결과를 구성하여 작업 계획을 완료한다.

3.4 ISH의 공간 추상화 모델

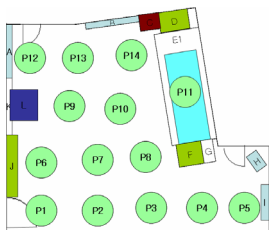


그림 10. ISH의 위치 노드 지도

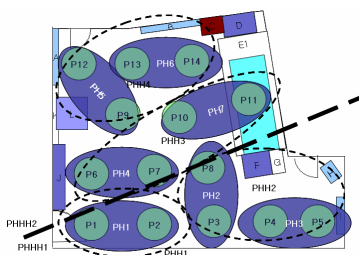


그림 11. ISH 위치 노드의 4-계층화

ISH에서 로봇이 위치 가능한 장소는 그림 10과 같이 14개의 노드로 가정하였다. 하위 단계 작업 ‘이동’은 앞에서 살펴본 것처럼 그림 10의 지도의 14개의 위치 노드를 모두 필

요로 한다. 이를 해결하기 위하여 공간 추상화에 의한 계층 구조를 만들면 그림 11과 같은 결과를 얻을 수 있다. 먼저 두 개의 최하위 노드들을 묶어 총 7개의 노드로 상위 노드를 만든다. 이러한 식으로 반복하면 최종 2개의 최상위 노드로 줄일 수 있다. 따라서 전체적으로 2개의 상위 계층으로 계층화가 가능하다. 공간 추상화를 그래프계획에 적요하면, 상위 계층에서부터 계획을 먼저 실행하고, 불필요한 상위 노드를 제거한다.

3.5 작업 계획의 과정

정의된 하위 단계 작업을 이용하여 작업 계획을 하기 위하여 최종 목표를 하위 목표로 나누고, 각 하위 목표에 따른 그래프계획을 수행한다. 이 때, 중요한 것은 각 하위 목표간의 독립성을 보장하여야 한다. 상호 의존하는 관계가 성립하는 하위 목표에 대하여 하위 목표 계획법을 수행하면, 원하는 결과를 얻을 수 없다.

그리고 4계층 공간 추상화 기법을 사용하였기 때문에, 먼저 최상위 공간 노드를 이용하여 계획하고, 사용하지 않은 최상위 노드는 먼저 제거한다. 그리고 사용한 최상위 노드에 대하여 다음 단계에서는 그 하위 노드를 이용하여 계획을 수행한다. 이러한 과정을 반복하면 원하는 작업 순서를 효과적으로 얻을 수 있다. 그림 12은 과정을 나타낸다.

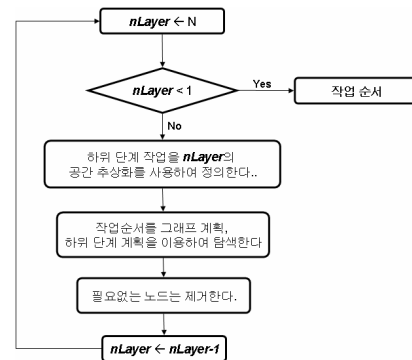


그림 13. 공간 추상화를 이용한 작업 계획 순서

3.6 적합한 작업 순서의 선택

그래프계획을 사용하여 계획한 경우 다양한 작업 순서들을 얻을 수 있다. 이는 그래프계획은 목표에 대하여 여러 개의 하위 단계 작업들이 존재하는 경우 무작위로 선택하여 작업을 계획하기 때문이다. 따라서 다양한 작업 순서가 만들어지고, 작업 순서를 구성하는 하위 단계 작업의 수도 각각 다르다. 따라서 무수히 많은 작업 순서들 중에서 적합한 작업 순서를 선택하여야 한다. 많이 사용하는 척도는 ‘작업 순서의 전체 단계의 수와 구성된 하위 단계 작업의 수’[15][16]가 있다. 따라서 이를 이용하여 가장 효과적인 작업 순서를 판단할 수 있다.

4. 실험 결과

결과 분석을 위하여 아래의 3가지 경우에 대하여 100개의 작업 순서 탐색을 수행하였고, 결과를 분석하였다. 이 때 작업 순서를 탐색할 때, 20개의 단계 수가 넘어가는 경우, 해당 작업 순서를 제거하였다. 그리고 가장 최적의 단계 수와 하위 단계 작업의 수를 가지는 작업 순서를 얻는데 소모하는 계획시간을 구하였다. 마지막으로 각 방법의 최종 작업 순서에 대한 전체 단계의 수, 전체 하위 단계 작업의 수를 비교하였다.

- 1) 그래프계획
- 2) 그래프계획 + 공간 추상화 기법
- 3) 그래프계획 + 공간 추상화 기법 + 하위 목표 계획법

계획 방법	계획 시간	전체 단계의 수	전체 하위 작업의 수
1)	66.76초	5개	11개
2)	6.19초	4개	13개
3)	0.70초	5개	9개

표 2. 각 방법에 대한 결과

계획 방법 1)의 결과	계획 방법 3)의 결과
Step 1 Close the Curtain Step 2 Go RH: P6 --> P11 Turn off the TV Turn off the light Step 3 Pick up user Go WHEELCHAIR: P5→P9 Open the Curtain Step 4 Go RH: P11 --> P7 Go WHEELCHAIR: P9→P7 Close the Curtain Step 5 Put down user	하위 목표1: {on (User, Bed), at (Robotic Hoist, P6)} Step 1 Go WHEELCHAIR: P5→P7 Go RH: P6→P11 Step 2 Pick up user Step 3 Go RH: P11→P7 Step 4 Put down user Step 5 Go RH: P7→P5 하위 목표2: {off (TV)} Step 1 Turn off the TV 하위 목표3: {off (Light)} Step 1 Turn off the lights 하위 목표4: {close (Curtain)} Step 1 Close the Curtain

표 3. 계획 방법 1)과 3)의 결과 비교

표 2의 결과에서 1)의 경우 100개의 작업순서를 탐색하는 시간이 66.76초를 소모하였고, 2)의 경우 100개의 작업 순서를 탐색하는 시간이 6.19초를 소모하였다. 즉, 공간 추상화 방법을 사용하면, 전체 탐색 시간을 크게 줄일 수 있다. 이에 비하여 3)의 경우 100개의 작업 순서를 탐색하는 시간이 0.7초로 크게 줄일 수 있다.

전체 작업의 수는 각 경우 마다 다른데, 1)과 2)의 결과에서 전체 하위 작업의 수가 11개, 15개로 나타났다. 이는 작업의 계획 과정에서 불필요한 작업 순서나 나타남을 알 수 있다. 즉, 공간 추상화 방법을 사용할 경우 계획 시간을 단축

이 가능하였지만, 전체 하위 작업의 수를 줄이지는 못하였다. 이에 비해 3)의 결과로부터 하위 작업 계획법을 적용하면, 계획 시간의 줄일 뿐 아니라, 전체 하위 단계 작업의 수를 줄일 수 있었다. 특히 표 3은 계획 방법 1)과 3)의 최종 결과를 비교한 표이다. 1)의 결과에서 밀출된 불필요한 하위 단계 작업의 반복이 생김을 알 수 있다. 탐색하는 작업 순서의 수를 늘리면 해결이 가능하지만, 이는 시간을 많이 소모시킨다. 이에 비하여 3)의 결과를 보면 전체 작업 순서의 수가 줄어들고, 불필요한 하위 단계 작업의 반복도 없어지는 것을 알 수 있다.

5. 결론

본 논문에서는 기존의 작업 계획 시스템인 그래프계획의 성능 개선에 대하여 다루었다. 그래프계획의 성능 개선을 위하여 기존에 연구가 되었던 공간 추상화와 하위 목표 계획법을 수행하였다. 실험 결과로부터 공간 추상화 기법만을 사용할 경우 계산 속도는 증가하였지만, 불필요한 작업의 반복이 생기는 것을 보였다. 이를 해결하기 위하여 하위 목표 계획법을 추가로 적용시켰다. 그러나, 하위 목표 계획법은 상호 의존하는 하위 목표를 잘못 세분화하여 계획하면, 원하는 작업 순서를 얻을 수 없는 단점을 가지고 있었다. 따라서, 본 논문에서는 이를 해결하기 위하여 최종 하위 목표간의 독립성과 의존성을 판단할 수 있는 방법을 사용하였다. 실험 결과로부터 하위 목표 계획법을 적용 시킬 경우, 계산 속도가 증가함을 보여주었다.

하지만 독립성과 상호 의존성을 판단할 때, 최종 목표 상태들 사이의 관계만을 고려하여 하위 목표로 세분화하였다. 따라서 중간 상태 천이 중 상호 의존 관계가 발생할 수 있다. 즉, 각 하위 목표를 얻는 작업 순서를 탐색하는 과정에서 상호 의존 관계가 발견할 수 있는 가능성이 있다. 특히, 위 실험 결과에서 얻은 작업 순서는 환경의 영향이나 로봇의 크기, 속도들을 고려하지 않았다. 따라서 이에 대하여 개선이 필요하다.

Acknowledgement

본 연구는 과학기술부/한국과학재단 우수연구센터육성사업의 지원으로 수행되었음(R11-1999-008).

참고문헌

- [1] M.C.Mozer, "The neural network house: An environment that adapts to its inhabitants," The American Association for Artificial Intelligence Spring Symposium on Intelligent Environments, pp. 110-114, 1998.
- [2] <http://research.microsoft.com/easyliving/>
- [3] http://architecture.mit.edu/house_n/
- [4] J.W.Jung, J.H.Do, Y.M.Kim, K.S.Suh, D.J.Kim and Z.Bien, "Advanced robotic residence for the elderly/the handicapped : Realization and user

- evaluation”, IEEE 9th International Conference on Rehabilitation Robotics, pp.492-495, 2005
- [5] Z.Bien, K.H.Park, D.J.Kim and J.W.Jung, “Welfare-oriented service robotic systems: Intelligent Sweet Home & KARES II,” Lecture Notes in Control and Information Sciences, Springer, pp.57-94, 2004
- [6] Z.Bien, H.E.Lee, Y.M.Kim, Y.H.Kim, J.W.Jung and K.H.Park, “Steward robot for human-friendly assistive home environment,” Assistive Technology Research Series, Vol.18, IOS press, pp.75-84, 2006
- [7] Y.M.Kim, K.H.Park, K.H.Seo, C.H.Kim, W.J.Lee, W.G.Song, J.H.Do, J.J.Lee, B.K.Kim, J.O.Kim, J.T.Lim, and Z.Bien, “A report on questionnaire for developing Intelligent Sweet Home for the disabled and the elderly in Korean living conditions”, The 8th International Conference on Rehabilitation Robotics, pp. 171-174, 2003
- [8] R.E.Fikes and N.J.Nilsson. “STRPIS: A new approach to the application of theorem proving,” Journal of Artificial Intelligence, Vol.2 No.3, pp189-208, 1971
- [9] J.Ferber, “Multi-agent systems: an introduction to distributed artificial intelligence,” Addison-Wesley press, 1998
- [10] A.L.Blum and M.L.Furst, “Fast planning through planning graph analysis,” Journal of Artificial Intelligence, Vol.90 No.1, pp.281-300, 1997
- [11] E.Parker, “Making graphplan goal-directed,” The 4th European Conference on Planning, pp.333-346, 1999
- [12] C.Galindo, J.Fernández and J.González, “Improving Efficiency in Mobile Robot Task Planning Through World Abstraction,” IEEE Transactions Robotics, Vol.20 No.4, pp.677-690, 2004
- [13] Y.H.Kim, H.E.Lee, H.H.Kim, K.H.Park and Z. Bien, “Task planning method for steward robot in Intelligent Sweet Home,” The 7th International Workshop on Human-friendly Welfare Robotic systems, pp.217-222, 2006
- [14] Y.Chen, B.W.Wah and C.W.Hsu, “Temporal planning using subgoal partitioning and resolution in SGPlan,” Journal of Artificial Intelligence Research, Vol.26, pp.323-369, 2006
- [15] F.Ren, W.GU, M.Yin and X.Zhang, “A new algorithm for handling actions in flexible Graphplan,” The 2006 IEEE International Conference on Networking, Sensing and Control, pp.214-217, 2006
- [16] Y.Zhang, M.Yin and W.Gu, “Realize utility-driven decision theoretic planning on the planning search,” The 4th International Conference on Machine learning and Cybernetics, pp.1447-1453, 2005