

지능로봇을 위한 다층구조의 행위 표현 방법론에 관한 연구

조수정*(제주대 대학원 메카트로닉스공학과), 최경현(제주대 기계에너지시스템공학부),
도양희(제주대 전자공학과), 김병국(한국과학기술원 전자공학과)

Study on the methodology of Multi-layer behavior representation for intelligent Robots

S. J. Jo(Mechanical Eng. Dept., CJU) , K. H. Choi(Mecha. Eng. Dept. CJU),
Y. H. Doh(Electronic Eng. Dept., CJU), B. K. Kim(Electronic Eng. Dept . KAIST)

ABSTRACT

To accomplish various and complex tasks by intelligent robots, improvement is needed not only in mechanical system architecture but also in control system architecture. Hybrid control architecture has been suggested as a mutually complementing architecture of the weak points of a deliberative and a reactive control. This paper addresses a control architecture of robots, and a behavior representation methodology. The suggested control architecture consists of three layers of deliberative, sequencing, and reactive as hybrid control architecture. Multi-layer behavior model is employed to represent desired tasks. 3D simulation will be conducted to verify the applicability of suggested control architecture and behavior representation method.

Key Words : Intelligent Robot(지능로봇), Hybrid Control Architecture(하이브리드 제어구조), Behavior-based Control(행위기반제어), Behavior Representation(행위 표현)

1. 서론

지능로봇 시스템이 원하는 기능을 수행하기 위해서는 많은 하드웨어와 소프트웨어 모듈을 필요로 하는데, 이들을 통일성 있게 구현 할 수 있는 것이 제어구조이다. 단순한 태스크만을 수행하던 이전의 로봇과는 달리, 복잡한 환경에서 다양한 행동이 요구되는 현대의 지능로봇에 있어서 주어진 태스크를 성공적으로 수행하기 위해서는 인간의 두뇌작용에 해당하는 지능제어시스템과 이를 바탕으로 한 자율기능, 높은 수준의 인간과 로봇과의 통신을 위한 적절한 인터페이스, 고기능 센서를 이용한 감각 기능, 로봇의 활동범위를 넓혀주는 이동기능, 여러 가지 조작을 위한 조작기능, 그리고 임무수행을 위한 처리기능 등이 필요하다. 이러한 다양하고 복잡한 태스크를 수행하기 위해서는 기계적인 향상 이외에 제어구조의 개선이 필요하다.

종래의 로봇 제어방식에는 크게 deliberative

제어⁽¹⁾와 reactive 제어⁽²⁾로 나눌 수 있다. Deliberative 제어는 지식베이스에 근거를 두는 추론 기능을 가지고 궤적을 계획하고 수행하는 전통적인 계층적 제어구조를 가지며 복잡한 태스크에서도 전반적인 최적화를 이룰 수 있지만, 느린 반응속도와 외부환경모델에 의존하는 약점을 가진다.

Reactive 제어는 센서에 의한 구동기의 반응을 유한하게 정의하여 로봇의 동작에서 일어나는 행위(behavior)를 실시간으로 처리하지만, 전체적인 입장의 임무수행 측면에서 약점을 가지고 있다. 이러한 약점을 상호 보완하는 구조로서 deliberative/ reactive 하이브리드 제어구조⁽³⁻⁹⁾가 필요하다.

지금까지 연구된 하이브리드 제어구조는 조작을 제외한 구조, 군사용으로 설계된 구조, 그리고 내부 인터페이스를 공개하지 않은 경우가 대부분이었다. 따라서 본 논문에서는 모바일/머니플레이터 형태의 지능로봇의 복잡한 태스크를 효율적으로 수행

하기 위한 태스크 계획, 주행과 조작의 효과적인 지원, 그리고 기능별로 관련 모듈을 컴포넌트화 하여 재사용 성이 가능한 deliberative, sequencing, 그리고 reactive 의 3 개의 층으로 구성된 행위기반의 하이브리드 제어 구조를 제안한다. 또한 태스크 표현방법으로 제어 로직을 시각화 할 수 있고, 오류 처리가 가능한 다층 행위 모델(multi-layer behavior model)을 제안한다. 또한, 물건 나르기 심부름에 대한 3D 시뮬레이션을 통해 제안된 제어 구조와 행위 표현 방법의 유용성을 검증한다.

2. 행위 기반의 하이브리드 제어구조

행위라는 개념은 deliberative 제어 방식인 SPA (Sense-Plan-Act)의 작업 환경에 대해 많은 지식을 가지고 있어야 하는 점과 환경의 불확실성과 비예측성에 효과적으로 대처 할 수 없는 단점의 대안으로 Brooks 의 subsumption 구조에서 도출되었다⁽²⁾. 이 제어 방법은 구성 요소를 기능별로 분해 한 기존의 방법과 달리 능력별로 나누었고, 이 개념이 확대되어 행위기반 제어가 탄생하였다. 그러나 행위 기반 제어는 지능형 에이전트의 자율적인 환경 대응면에서는 신뢰성이 있으나 주어진 태스크 수행 측면에서는 취약한 면이 있다. 이는 행위기반 제어 에서 신중한 태스크 계획 및 관리를 배제하고 있기 때문이다.

일반적으로 하이브리드 제어구조의 상위에는 HRI (Human-Robot-Interface)관련 부분과 태스크를 분해 및 계획을 담당하는 deliberative 층이 존재 하고, 하위구조에는 실시간성이 필요한 로봇 제어 및 센싱에 관련된 reactive 층이 존재한다. 그리고 이 둘 사이의 연결을 담당하는 층이 필요하다.

Fig. 1 은 제안된 하이브리드 제어구조를 보이며 각종 컴포넌트들의 배치와 컴포넌트 사이의 연결 관계 및 흐름을 보여준다. 제어구조는 크게 Deliberative, Sequencing, 그리고 Reactive 의 3 개의 층으로 구성되어 있다.

최상위 계층인 Deliberative 층은 사용자와의 대화 및 태스크 계획을 담당하고, 상위 레벨 컨피그레이션(High-Level Configuration), 중앙플랜너(Central Planner) 그리고 태스크 해석기(Task Interpreter)로 이루어진다. High-Level Configuration 은 다층행위의 모델로 이미 정의된 프로세스를 저장하고 있으며, Central Planner 는 주어진 태스크를 수행하기 위한 행위들의 조합을 생성한다. Task Interpreter 는 다양한 HRI 에서 들어오는 정보로부터 요구되는 태스크를 결정한다.

중간 계층인 Sequencing 층은 Deliberative 층 과 Reactive 층 사이의 원활한 동작을 위한 인터페이스를 담당하며 Sequence Coordinator 와 Perception 으로 나뉜다. 첫 번째는 Reactive 층 제어부로 Center Planner 에서 계획한 행위의 집합으로부터 행위의 순서 및 제어 로직이 포함된 다층구조의 행위모델을 생성하는 Behavior Assemble 과 생성된 다층구조의 행위 모델을 기반으로 머니플레이터/ 모발를 제어하는 명령어를 생성하는 Sequence Coordinator 로 구성된다. 두 번째는 정보 생성부로 위치추정 및 환경지도작업을 하는 모듈(Localizer)과 음성 및 대상 인식 모듈들(Speech/Face Recognition Modules)로 구성된다. 최하 계층인 Reactive 층은 짧은 계산을 반복적으로 수행하며 환경에 기민하게 반응한다.

3. 행위 표현 방법론

Fig. 2 에 계층적 구조를 가지는 다층 행위 모델(Multi_Layered Behavior Model)이 모여진다.

행위모델은 5-tuple 로 구성되어 있으며 행위는 기본 행위의 집합으로 표현되고 행위와 행위 사이의 전이(transition)는 이벤트와 경계조건으로 정의된다. 태스크는 프로세스의 조합이고 프로세스는 다층 행위 모델로 표현한 행위들의 일련의 순서이며 오류 처리 로직을 포함한다.

$$M = \{S, E, C, B, \sum t_0\}$$

여기서, S 는 상태(State), E 는 이벤트(Event), C 는 컴포넌트(Component), B 는 행동(Behavior), $\sum t_0$ 는 실행시간(Execution or operation time)을 나타낸다.

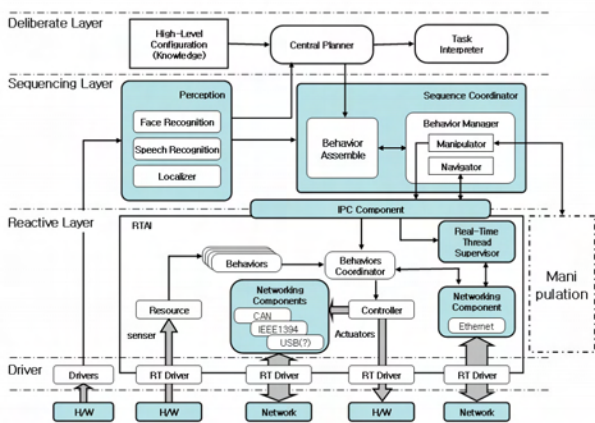


Fig. 1 Proposed hybrid control architecture

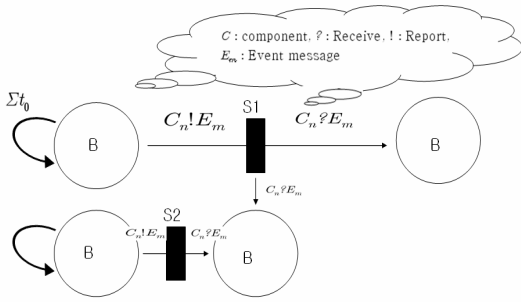


Fig. 2 Multi-layer behavior model

Fig.3, 4, 5, 태스크 그리고 6 은 “물건 나르기 심부름” 에 대해 다층 행위 모델을 이용하여 표현한 것이며, 기본적인 행위는 Reactive 층에서 실행이 이루어 진다. Fig. 3 는 물건 나르기 심부름의 최상위 프로세스를 나타내고 있으며, 진한 원으로 표시되는 행위는 머니플레이터/모발부의 조합에 및 연동에 의하여 수행되는 행위를 표시하며 두개의 원으로 표시된 행위로 인식 모듈의 행위를 표기하고 있다. Table 1 에는 “물건 나르기 심부름” 태스크에서의 행위를 전이하는데 사용하는 상태와 이벤트 메시지의 리스트가 보여진다.

Table 1. State and Event message list

State Number	State Name	State Number	State Name
S ₁	MoveDistance	S ₉	AtDoorWay
S ₂	AtDoorWay	S ₁₀	FrontDoor
S ₃	FrontDoor	S ₁₁	Wait
S ₄	Wait	S ₁₂	InRoom
S ₅	InRoom	S ₁₃	Detect
S ₆	Near	S ₁₄	Near
S ₇	Detect	S ₁₅	MoveDistance
S ₈	AboutFace Completed		

Em Number	Em Name	Em Number	Em Name
Em ₁	Success	Em ₅	GoThrough
Em ₂	Start	Em ₆	GoTo
Em ₃	Recognize	Em ₇	PickUp
Em ₄	Open	Em ₈	PutDown

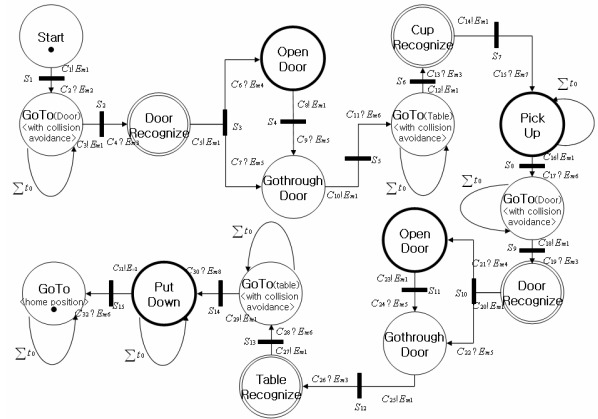


Fig. 3 Multi-Layered Behavior Model for delivery task

Fig. 4, 5 그리고 6 은 각각 Open_Door, PickUp_Object, 그리고 PutDown_Object 명령의 하위 프로세스를 보인다.

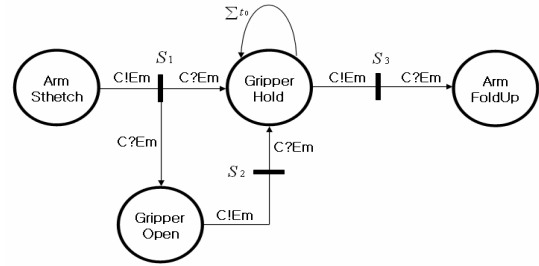


Fig. 4 Multi-Layered Behavior Model of sub-layer process for Open_Door command

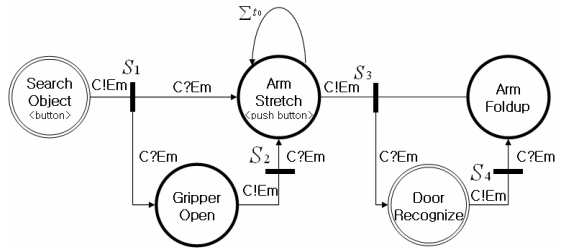


Fig. 5 Multi-Layered Behavior Model of sub-layer process for PickUp_Object command

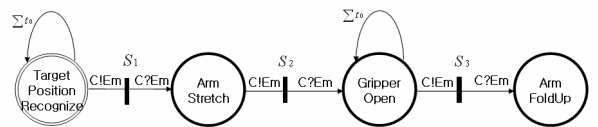


Fig. 6 Multi-Layered Behavior Model of sub-layer process for PutDown_Object command

Fig. 4 은 로봇이 누름 버튼(push button)으로 되어 있는 방문을 열기 위해 문 앞으로 이동, 버튼 위치로 팔을 뻗음, 그리고 한 손가락을 펴는 주행과 조작의 동기화 된 연동을 나타낸다. 인식 모듈에 의하여 이렇게 생성된 주행 및 조작 데이터는 프로세스 종료 후 지식 데이터베이스에 저장되고 재사용이 가능하다. 만약 문 또는 손잡이의 위치가 변경 되었을 경우에는 변경된 주행 및 조작 데이터를 업데이트 한다. 이 밖에 냉장고 문열기, 엘리베이터 버튼 누르기 등에 적용이 가능하고, 이것으로 로봇이 좀 더 자연스럽게 빠르게 태스크를 수행 할 수 있다.

4. 로봇 시뮬레이션

로봇 시뮬레이션을 통하여 제안된 제어구조와 태스크 표현 방법을 기반으로 주어진 태스크를 성공적으로 수행 함을 확인하고자 한다.

3D 시뮬레이션을 위한 로봇 사양 및 환경은 Table2 와 같다. 로봇은 2 개의 구동 바퀴와 2 개의 보조바퀴, 양 팔, 그리고 3 개의 손가락을 가지는 양손으로 구성된 로봇으로 움직이며, 환경은 2 개의 방, 누름 버튼으로 되어있는 1 개의 문, 장애물 역할을 하는 2 대의 로봇, 사람, 음료수 캔, 테이블들로 구성되어 있다.

Table 2. Robot specification and environment for 3D simulation

Robot	Mobile	<ul style="list-style-type: none"> • 2 active cater type • Φ 680 * 1174mm • 3 DOF
	2 Manipulators	<ul style="list-style-type: none"> • Each 7 DOF • Max. Reach : 1m
	2 Hands	<ul style="list-style-type: none"> • Each 3 Fingers • Each 6 DOF
Environment	<ul style="list-style-type: none"> • 2 rooms (16400 * 8400mm) • Automatic door (2000 * 2000 * 80mm) • Push Button (100 * 300 * 20mm) • Obstacles (Φ 680 * 1174mm) • Tables (500 * 500 * 500mm) • Can (Φ 60 * 120mm) • Human (620 * 1500 * 250mm) 	

로봇 시뮬레이션은 다른 방에 있는 테이블위의 음료수 캔을 옮기는 물건 나르기 심부름에 대해 수행되었으며, 행위 표현의 모델은 Fig.3 에

나타나는 것을 사용하였다. Fig. 7 은 각각 물건 나르기 심부름의 3D 시뮬레이션을 보인다.

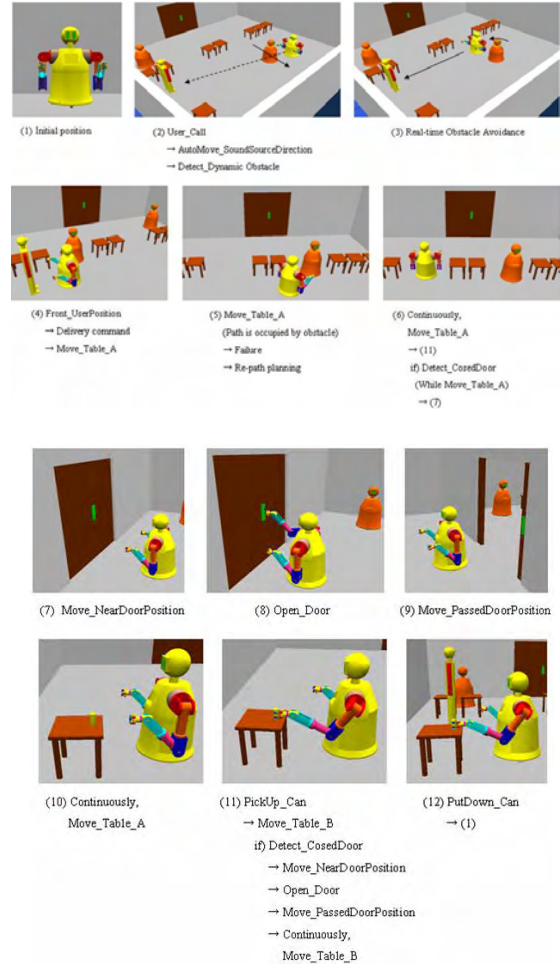


Fig. 7 3D simulation for delivery task

5. 결론

본 논문에서는 지능로봇을 위한 행위기반의 하이브리드 제어구조와 태스크 표현 방법인 다층 행위 모델을 제안하였다. 그리고 이를 기반으로 3D 시뮬레이션을 통해 주어진 태스크를 성공적으로 수행함을 확인하였다. 따라서 다음과 같은 결론을 내릴 수 있다.

- 1) 행위기반의 하이브리드 제어구조는 효율적인 태스크 계획과 주행과 조작의 효과적인 지원으로 다양하고 복잡한 태스크를 수행할 수 있다. 또한 관련 모듈을 기능별로 컴포넌트화

하여 로봇 시스템 통합을 위한 가이드라인을 제시하였다.

- 2) 다층 행위 모델은 제어로직을 시각화하고 표현이 간단하며, 각각의 행위를 클래스화하여 재사용성이 용이하다. 또한 다층 행위 모델로 정의된 태스크는 태스크 지식 데이터베이스에 저장되어 사용자의 태스크 명령에 따라 빠르게 수행할 수 있으며, 이벤트에 따른 프로세스 변경이 용이하다.
- 3) 주행과 조작의 동기화된 연동 표현으로 태스크 실행시간이 단축됨을 확인하였으며, 연동의 시작위치와 속도를 최적화한다면 더 많은 시간 단축이 예상된다.
- 4) 본 논문에서 제시한 제어구조와 태스크 표현 방법은 산업용 로봇, 개인용 로봇, 서비스 로봇에 응용 가능할 것으로 예상된다.

후 기

본 논문은 과학기술부의 21세기 프론티어 사업인 '인간기능 생활지원 지능로봇 기술개발 사업'에 의해 지원되었습니다

참고문헌

1. Nils J. Nilson, *Principles of Artificial Intelligence*, Palo Alto: Tioga, 1980.
2. Rodney A. Brooks, "A Robust Layered Control System for a Mobile Robot," *IEEE Journal of Robotics and Automation*, vol.2, no.1, March 1986.
3. R. C. Arkin, *Behavior-Based Robotics*, The MIT Press, Cambridge, Massachusetts, London, England, pp. 205-235, 1998.
4. Sebastian Thrun, Maren Bennewitz, Wolfram Burgard, Armin B. Cremers, Frank Dellaert, and Dieter Fox, "MINERVA : A Second-Generation Museum Tour-Guide Robot," *Proc. of the IEEE Conference on Robotics and Automation*, Detroit, Michigan, USA, pp. 1999-2005, 1999.
5. Mattias Lindstrom, Anders Oreback, and Henrik I. Christensen, "BERRA : A Research Architecture for Service Robots," *Proc. of the IEEE Conference on Robotics and Automation*, San Francisco, CA, USA, pp. 3278-3283, 2000.
6. James S. Albus, "4D/RCS A Reference Model Architecture for Intelligent Unmanned Ground Vehicles," *In proceedings of the SPIE 16th Annual*

International Symposium on Aerospace/Defense Sensing, Simulation and Controls, Orlando, FL, April 2002.

7. Graf, B., Hans, M., Kubacki, J., Schraft, R.D., "Robotic Home Assistant Care-O-bot II," In proceedings of the Second Joint Meeting of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society and the Biomedical Engineering Society, Houston, Texas, 2002.
8. Gunhee Kim, Woojin Chung, Munsang Kim, and Chongwon Lee, "Implementation of Multi-Functional Service Robots Using Tripodal Schematic Control Architecture", In proceedings of the International Conference on Robotics and Automation, New Orleans, LA, USA, 2004.