

# 하이브리드 메시지 로봇 아키텍처

이 형 구

한국산업기술대학교 게임공학과

e-mail : [hgl@kpu.ac.kr](mailto:hgl@kpu.ac.kr)

## Hybrid Message Robot Architecture

HyoungGu Lee

Dept. of Game & Multimedia Engineering, Korea Polytechnic University

### 요 약

이동형 로봇을 위한 아키텍처가 제안된다. 제안되는 로봇 아키텍처는 하이브리드 deliberative/reactive 타입이다. 아키텍처는 세 층으로 구성되는데 deliberation 층, 태스크 실행 층, reactive 층이다. 태스크 실행 층에 공용 메시지 박스를 두어서 세 층간의 메시지 교환 용도로 사용한다. 시스템의 구성 모듈은 서로 독립적으로 작동하고 다른 모듈과의 메시지 교환은 메시지 박스를 통해서 이루어지도록 하여 시스템의 확장성과 유연성이 확보된다.

### 1. 서론

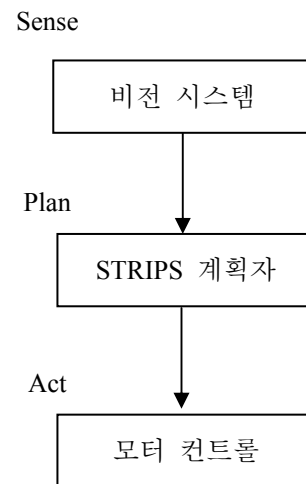
모든 지능 시스템의 밑바탕으로 기본 아키텍처를 들 수 있다. 기본 아키텍처는 협력 구조, 통신 구조, 제어 구조를 제공하며 자동 로봇에서 소프트웨어 아키텍처는 로봇 제어를 위한 접근 방법에 큰 영향을 미친다. 본 논문에서는 이동형 자동 로봇의 개발에 사용될 아키텍처를 제안한다. 개발되는 이동형 자동 로봇의 용도는 가사 보조로서 물건 들어서 나르기, 신문 가져오기, 집 지키기, 방문자 응대하기가 주요 역할이다. 2 장에서는 이동형 로봇 개발에 적용되는 주요 아키텍처를 살펴보고 3 장에서 기존 하이브리드 아키텍처의 단점을 보완한 새로운 아키텍처를 제안한다.

### 2. 로봇 아키텍처

여기서 “로봇 아키텍처” 용어는 로봇 시스템의 소프트웨어 구성을 가리키는 것으로 사용한다. 최초의 로봇 아키텍처는 1953 년에 생리학자인 W. Grey Walter 가 디자인한 “tortoise”에서 사용되었다[1]. 이 기계는 로봇의 주요 요소인 센서 (빛을 찾기 위한 photocell 과 장애물 발견을 위한 범퍼), 모터, 내장된 행동을 갖추고 있어서 광원을 찾거나 피할 수 있고 배회할 수 있으며 장애물도 피하고 배터리를 재충전할 수도 있다. 그러나 행동에 우선 순위를 설정할 수 있지만 명확한 조절 시스템 디자인이 부족하였다.

1969 년에 스탠포드 연구소(SRI)에서 Shakey 라는 색다른 아키텍처의 로봇이 만들어졌다[1]. 이 로봇은

비전 시스템과 충돌 센서도 갖췄지만 센서 출력이 추진 모터와 직접 연결되어 있지 않고 “생각하는” 층에 대한 입력을 형성하였다. 계획자는 로봇의 비전 시스템으로부터 얻은 사진들을 이용해서 로봇 환경에 대한 지도를 작성한다. 이 로봇의 작동은 그림 1 에 나와있는 것처럼 “Sense-plan-act”의 한 경우로 볼 수 있다.



(그림 1) Shakey 의 Sense-plan-act 아키텍처

### 2.1 Deliberative 아키텍처

SRI 로봇 Shakey 는 로봇 아키텍처에 대한 첫번째 deliberative 시도이다. 이 방법은 계층적 구조로서 각 층은 아래층에 부목표 (또는 명확한 지침)를 제공한다. 그리고 계층적 아키텍처는 로봇이 이동하는 세계에 대한 모델을 포함한다. 세계 모델을 변경하고 갱신하기 위해서 인식(perception)이 사용된다. 그래서 행동은 인식에서 직접 생성되는 것이 아니고 모델로부터 계획과 추론에 의해서 생성된다. 다시 말해서 로봇은 감지하고 생각한 다음에 움직일 수 있다. 계획 작업을 수행하는 데 걸리는 시간 때문에, Shakey 와 같은 이 아키텍처에 기반한 초기 로봇은 인지 절차(cognitive procedure)가 진행되는 동안에는 아무것도 변화되지 않는 정적인 세계에 제한되었다. 이 제약은 계산 속도가 증가함에 따라 다소 완화되었다.

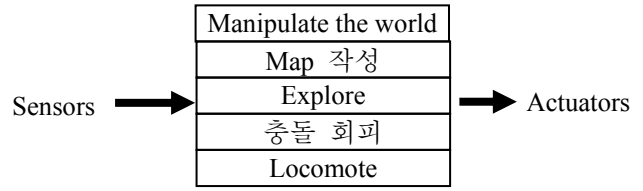
계층적 아키텍처의 대표는 미국 국립 표준 위원회에 있는 James Albus 에 의해서 개발된 NASREM (National Aeronautics 그리고 Space Administration)[2]이다. 이 아키텍처는 6 층으로 구성된다.

아키텍처의 각 층에는 가장 낮은 레벨의 컨트롤에서 가장 높은 레벨의 전략적 계획에 이르는 특정 기능이 할당된다. 센서 입력은 아키텍처의 가장 낮은 레벨인 서보 레벨로 들어간다. 각각의 연결되는 상위 레벨에서 처리되는 센서 입력은 세계 모델을 갱신하는 데 사용된다. 그래서 이 아키텍처에서는 컨트롤 시스템 디자인이 단지 서보 레벨에서만 일어난다.

전역적인 전략적 계획은 가장 높은 레벨에서 발생한다. 그런 계획은 긴 범위의 목적과 관련되므로, 그것을 달성하기 위해서 요구되는 시간은 주요 관심 사항이 아니다.

### 2.2 Reactive 아키텍처

Brooks [3]에 의해서 제안된 이 아키텍처는 중간에 인지 층(cognitive layer) 없이 인식(perception)과 행동(action)이 가깝게 묶이는 특징을 갖는다. 이 접근 방법은 Shakey 에서 사용된 sense-plan-act 패러다임과는 아주 다른 것이다. Brooks 는 복잡한 세계 모델을 만들어서 심볼 추론을 사용하는 것은 이동형 로봇의 성공적 개발에 방해가 되는 일이고 로봇이 움직인 환경만이 로봇이 움직일 필요가 있는 유일한 "모델"이라고 주장했다. Sense-plan-act 모델의 수직적 구조를 사용하는 것 보다 그림 2 에 나온 것과 같은 수평적 구성의 행동을 제안했다.



(그림 2) Reactive, 행동 기반 시뮬레이션 모델

Brooks 모델에 기반한 아키텍처는 모든 행동이 병렬적으로 동시에 그리고 보통은 비동기적으로 작동한다. 이 모델에서 더 상위의 복잡한 행동은 아래의 행동을 포함한다. 그래서 탐험 행동은 장애물 회피 행동을 포함한다. 여기서 더 낮은 레벨은 더 높은 레벨에 관해 알지 못하므로 아키텍처는 새로운 층이 추가돼서 점진적으로 커질 수 있다. 이 타입의 아키텍처에서는 센서가 이러한 행동에 대한 입력을 제공하고 별도의 deliberative 층이 없다. 이러한 이유 때문에 이런 타입의 아키텍처는 포함 아키텍처(subsumption architecture)로도 알려져 있다. Brooks 는 행동 기반 로봇의 두 가지 기본적 특징을 강조한다. 로봇은 세계를 센서를 통해서 감지하고 센서의 출력에 따라서 행동하며 시뮬레이션이 아닌 하드웨어 상으로 구체화되어야 한다는 점이다. 그러나 완전한 reactive 아키텍처는 복잡한 임무를 잘 수행하지 못했다.

### 2.3 Hybrid Reactive-Deliberative 아키텍처

앞 두 절에서 살펴본 아키텍처는 독자적으로 개발되었다. Deliberative sense-plan-act 아키텍처는 먼저 개발되었고 reactive, subsumption 아키텍처가 나중에 개발되었다. Hybrid 아키텍처를 처음 개발한 사람은 Mataric[4]으로 다중의 reactive 층 위에 planning 층을 추가했다. 이 관점에서 봤을 때 그림 2 에 나온 단순한 reactive 구조는 상위 레벨의 층을 포함하도록 표 1 과 같이 변경될 수 있다.

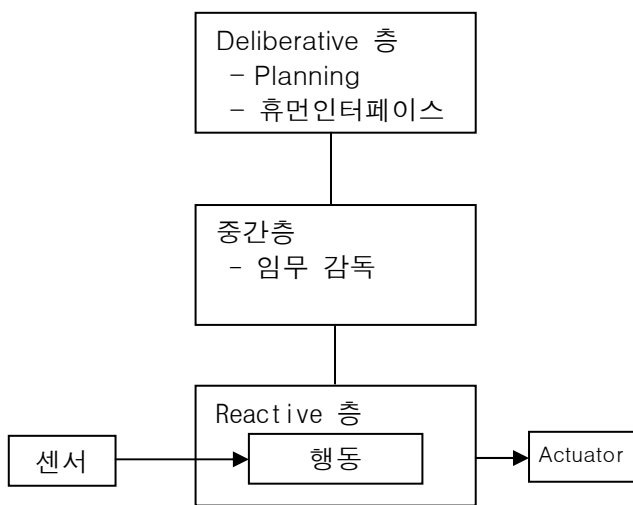
<표 1> 하이브리드 reactive-deliberative 구조체

층	행동
7	세계에 관해 추론; 계획 변경
6	계획을 형성해서 실행
5	세계에 있는 객체 구분
4	세계 변환 관찰: 행동 변경
3	환경 맵 작성
2	세계 탐험
1	세계 배회
0	장애물 회피

표 1 에서 아래 다섯 층은 reactive 아키텍처에 해당되고 위 두 층은 계획과 deliberation 에 관여한다.

그림 3 에서 보는 것처럼 전형적인 hybrid 아키텍처는 세 개 층으로 구성된다. 제일 아래 층은 reactive 층으로 센서와 actuator 가 가까이 묶여진다. 최상층은 deliberative 요소를 제공하는데 사람과의 상호작용, 계획, 위치 찾기 그리고 인지 기능을 포함한다. 이 두 층 사이에 관리 층이 있다.

이 3 층 모델을 더 세분화하는 것은 계층적 구조를 deliberative 영역에 할당하는 것이다. 즉 계층적 deliberative 계획 아키텍처는 계획 구성요소를 시간과 공간 두 측면에서 계획에 따라서 수평적으로 분할한다. 짧은 계획은 특성상 대부분이 지역적이고 로봇의 근처에서 짧은 시간에 달성될 수 있다. 짧은 기간의 계획자는 빠르게 반응해야 하고 로봇 환경에 대한 정교한 지식을 요구한다. 반면에 가장 높은 레벨에서 전략적 계획자는 로봇의 전체적 행동 전략에 관여하는데 계획을 짜기 위해서 더 많은 시간을 갖게 되고 정밀도는 덜 요한다. 계층적 계획자는 계획 작성을 수행하기 위해서 세계의 좋은 모델(맵)에 강하게 의존한다. 반면에, 행동 기반의 reactive 접근방법은 인지(perception)와 행동(action)의 가까운 결속(close coupling)에 의존하고 그래서 빠르게 변화하는 환경에 적합하다.



(그림 3) 3 층의 hybrid reactive-deliberative 아키텍처

Arkin [5,6]이 제안한 방법은 AuRA 아키텍처에 나타난다. 그것은 다소 행동 기반 시스템의 실험을 위한 특별 시스템이다. 이 시스템은 특히 네비게이션 임무를 수행하는 단일 플랫폼에서 작동하도록 디자인되었는데 나중에는 그 응용 영역이 확대되었다.

ROMAN[7]은 독일의 TU Munich 에서 건강 돌보기 서비스와 가사 자동화를 목적으로 디자인되었다. 이 시스템은 하나의 공용 블랙보드 아키텍처 주위로 일련의 '전문가' 모듈이 연결되도록 디자인되었다. 예제 전문가로 장애물 발견, 객체 인식, locomotion, 조작(manipulation), 계획 작성, 사람 로봇 인터페이스를 포함한다. 이 시스템은 임무 영역에 대한 특정 모델(건물의 CAD 모델)을 사용해서 여러 가지 상황이 준비된 영역에서 성공적으로 평가되었다.

XAVIER 시스템 [8,9]이 CMU 에서 개발되었다. 시스템은 특정 기능을 갖는 네 개 층으로 구성되는데 임무 계획 작성, 경로 계획 작성, 네비게이션, 장애물 회피가 그것이다. 처음 두 부분은 일반적 아키텍처의 최상층에 해당하고 장애물 회피가 actuator 에 명령을 보낸다. 이 시스템은 통신, 계획 작성과 행동 통합을 위한 일련의 표준 구성요소로 작성되었다. 이 시스템은 1995 년 12 월 이후로 거의 매일 사용되고 있으며 인터넷을 통해서 거의 2500 개의 네비게이션 요청을 받고 약 95% 완수 성공률을 보였다. Bonn 대학에서 개발된 RHINO [10] 시스템은 XAVIER 와 비슷하고 박물관에서 안내 로봇으로 사용되었다.

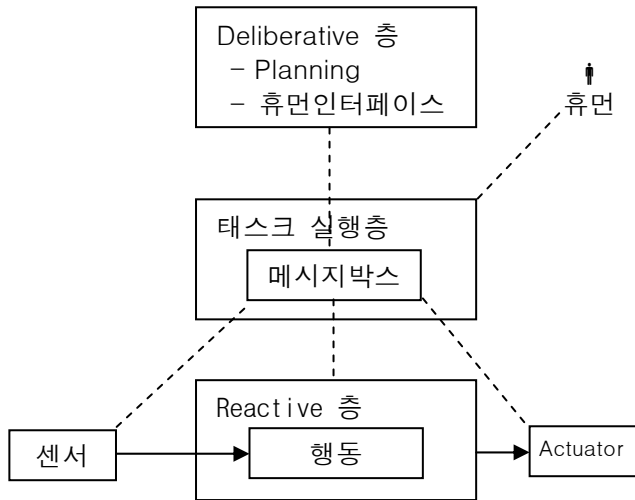
3T[11] 시스템의 아키텍처는 skills, sequencing 그리고 planning layer 를 갖는 세 개 층의 아키텍처이다. 각 층에 모듈을 배치한 기준은 시간, bandwidth, 임무의 요구 사항, 그리고 변경 가능성의 네 가지 요소에 기반한다. Planner 는 로봇이 어떤 목적에 따라서 수행하는 task 를 나열하고 부분적으로 순서화된 plan 을 구성한다. Sequencing 층은 planner 로 구성되는 task 인 RAP 를 포함하고 선택된 RAP 를 다른 RAP 로 나눈다. Skill 층은 skill manager 로 조정되는 동적 재프로그래밍이 가능한 일련의 reactive skill 을 포함한다.

이상으로 살펴본 시스템의 공통점은 잘 정의된 아키텍처를 기반으로 하고 있고 서로 다른 구성 요소들이 강하게 결합돼 있다는 것이다. 이것은 성능 면에서는 좋지만 일반성과 재사용성을 떨어트린다[12].

### 3. 하이브리드 메시지 로봇 아키텍처

앞 절에서 살펴 보았듯이 기존의 하이브리드 로봇 아

키텍처는 구성요소가 강하게 결합돼 있어서 확장성이 떨어지는 단점이 있다. 그림 4 에서 보듯이 제안되는 로봇 아키텍처는 중간의 태스크 실행층에 메시지 박스를 두어서 층간의 통신 뿐 만이 아니라 모든 모듈간의 통신 메시지를 중개하도록 한다.



(그림 4) 하이브리드 메시지 로봇 아키텍처

제안되는 아키텍처가 가능하기 위해서는 모듈간의 통신을 위한 표준이 정해져야 하고 각 모듈은 다른 모듈과의 통신을 오직 메시지 박스만을 통하여 수행해야 한다.

#### 4. 결론

본 논문에서는 지금까지 개발되어 온 주요 로봇 아키텍처를 세가지 범주로 살펴보고 기존의 하이브리드 아키텍처가 갖는 단점을 보완하는 이동형 로봇을 위한 아키텍처를 제안하였다. 제안된 로봇 아키텍처는 하이브리드 메시지 deliberative/reactive 타입이다. 아키텍처는 세 층으로 구성되는데 deliberation 층, 태스크 실행 층, reactive 층이다. 태스크 실행 층에 공용 메시지 박스를 두어서 세 층간의 메시지 교환 뿐 만 아니라 시스템의 모든 모듈간의 메시지 교환 용도로 사용한다. 시스템의 구성 모듈은 서로 독립적으로 작동하고 다른 모듈과의 메시지 교환은 메시지 박스를 통해서 이루어지도록 하여 시스템의 확장성과 유연성이 향상된다.

#### 참고문헌

- [1] George A. Bekey, "Autonomous Robots: From Biological Inspiration to Implementation and Control," The MIT Press, 2005.
- [2] J. S. Albus, H. McCain, and R. Lumia, "NASA/NBS standard reference model for telerobot control system architecture (NASREM)," Technical Report, Robots Systems Division, National Bureau of Standards, Gaithersburg, Md., 1987.
- [3] R. Brooks, "A robust layered control system for a mobile robot," IEEE Journal of Robotics and Automation 2(1): 14 - 23, 1986.
- [4] M. Mataric, "Integration of representation in goal-driven behavior-based robots," IEEE Transaction on Robotics and Automation 8(3): 304 - 312, 1992.
- [5] R. C. Arkin, "Path planning for a vision-based autonomous robot," In proceedings of the SPIE Conference on Mobile Robots, 1986.
- [6] R. C. Arkin, T. Balch, "AuRA: Principles and practice in review," Journal of Experimental and Theoretical AI, 2-3:175 - 189, 1997.
- [7] U. D. Hanebeck, C. Fischer, and G. Schmidt, "ROMAN: A mobile robotic assistant for indoor service applications," In proceedings of IROS97, 518 - 525, 1997.
- [8] R. Simmons, "Structured control for autonomous robots," In IEEE Transactions on Robotics and Automation, 1994.
- [9] J. O'Sullivan, K. Z. Haigh, and G. D. Armstrong, "XAVIER Manual," Internal Manual, 1997.
- [10] M. Beetz, W. Burgard, A. B. Cremers, and D. Fox, "Active localization for service robot applications," In Proceedings of SIR97, 1997.
- [11] R. P. Bonasso, R. J. Firby, E. Gat, D. Kortenkamp, D. Miller, and M. Slack, "Experiences with an architecture for intelligent, reactive agents," Journal of Experimental and Theoretical Artificial Intelligence, 9 (1-2), 237 - 256, 1997.
- [12] M. Lindstrom, A. Oreback, and H. Christensen, "Berra: A research architecture for service robots," In International Conference on Robotics and Automation, 2000.