

# 사서로봇을 위한 정보구조화 공간과 환경지능 시스템

## Information Structured Space and Ambient Intelligent Systems for a Librarian Robot

김 봉 근<sup>1</sup>, 오바 코타로<sup>2</sup>

Bong Keun Kim<sup>1</sup>, Kohtaro Ohba<sup>2</sup>

**Abstract** Visions of ubiquitous robotics and ambient intelligence involve distributing information, knowledge, computation over a wide range of servers and data storage devices located all over the world, and integrating tiny microprocessors, actuators, and sensors into everyday objects as well in order to make them smart. In this paper, we introduce our ongoing research effort aimed at realizing ubiquitous robots in an information structured space. For this, a ubiquitous space and ambient intelligent systems for a librarian robot are introduced and the RFID technology based approach for these systems is described.

**Keywords:** Ambient Intelligent System, Information Structured Space, Librarian Robot

### 1. 서론

다양한 센서를 생활환경에 분산배치하고, 네트워크로 연결함으로써 수집된 정보를 실시간으로 로봇에게 제공하는 정보구조화 환경(Information Structured Environment)의 개념은 모든 로봇이 공통으로 사용할 수 있는 정보화 환경(Informative Environment)을 구축할 수 있는 이론적 배경이 되었고, 공간 또한 로봇화 시키는 목적으로 연구가 진행되고 있다. 환경지능(Ambient Intelligence) 시스템과 유비쿼터스 컴퓨팅 기술을 로봇 시스템과 접목한 유비쿼터스 로봇(Ubiquitous Robot)이라는 새로운 개념의 로봇이 이에 기초하여 제안되었고<sup>[1,2]</sup>, 로봇이 동적 변화가 많은 실생활 환경을 쉽게 인지하고, 안전하고 신뢰도 높은 작업을 실현하기 위한 구체화된 연구와 활용법이 다양하게 기대되고 있다.

본 논문에서는 유비쿼터스 로봇의 실용화 모델의 하나인 도서관 사서로봇 시스템을 소개하고 이를 위한 정보구조화 공간과 환경지능 시스템을 설명한다. 도서관과 같은 인간이 함께하는 환경에서 로봇을 이용하여 책이나 자료를 정리하기 위한 연구는 지금까지 다양하게 제안되었고 여러 가지의 관련기술들이 개발되었다<sup>[3-7]</sup>. 본 논문에서는

로봇 시스템이 다양한 정보와 지식에 접근할 수 있도록 RFID에 기초한 기술을 이용하여 환경지능을 가지는 u-RT(ubiquitous Robot Technology) Space를 설계하고 구현함으로써 지능적이면서도 서비스 지향 구조(Service Oriented Architecture)를 가지는 정보구조화 공간을 개발한다. 따라서 지금까지의 사서로봇에 대한 연구가 로봇이 가진 센싱과 조작 기능만을 다루었던 것과는 달리, 본 연구에서는 주위환경과 네트워크 공간상에 분산되어 있는 지식과 정보를 이용하여 주어진 작업을 효율적이면서도 안정적으로 수행하고 그 결과를 언제 어디서나 확인하고 감시할 수 있고 또한 높은 신뢰성을 가지는 시스템을 위한 설계방법을 제안한다.

제안되는 시스템의 성능을 평가하기 위하여 데이터베이스 서버, 웹서비스(Web Services) 서버<sup>[8]</sup>, RT 미들웨어 서버<sup>[9]</sup>, 전체 시스템을 관리하는 사서 시스템 서버로 구성되는 소프트웨어 시스템과 사서로봇, RFID 태그리더(Tag Reader), 컴퓨터 비전 등으로 구성되는 하드웨어 시스템, 그리고 시스템통합을 위한 u-RT Space라는 정보구조화공간을 구축하여 사서로봇의 책정리 작업의 결과를 검토한다.

### 2. 사서로봇 시스템을 위한 환경구조화

최근, 생활지원 로봇에 대한 요구가 증가하면서 공간을

Received: February, 28, 2009, Reviewed: March, 23, Accepted: May, 22, 2009

<sup>1</sup> 일본 산업기술종합연구소(AIST) 지능시스템연구부 연구원

<sup>2</sup> 일본 산업기술종합연구소(AIST) 지능시스템연구부 연구원

인식하고 일상의 물체를 인식하여 조작하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. 특히 생활공간에 다양한 센서를 배치하고 네트워크로 관리하는 환경구조화 연구와 이에 기초한 응용 시스템의 개발은 로봇이 동작하기 위해 필요한 위치나 지도정보, 그리고 이동경로 위의 장애물에 대한 정보 등을 제공하는 환경지능 시스템의 개발을 앞당겼고, 결과적으로 이것은 로봇의 기능과 활용성을 크게 향상시켰다. 더불어 로봇이 가진 다양한 종류의 센서와 매카니즘(Mechanism) 그리고 지식의 운용방법 등에 대한 상호운용성의 문제를 해결하기 위하여 로봇과 센서, 그리고 구동기기와 같은 하드웨어적인 요소들과 이들을 제어하고 관리하기 위한 소프트웨어적인 요소들을 심리스(Seamless)하게 연결시켜주는 미들웨어 기술과 통신방법의 표준화에 대한 중요성이 매우 주목받고 있다. 따라서 로봇 시스템과 환경지능 시스템을 위한 표준화된 모델의 연구개발이 필요하게 되었고, 환경의 다양성과 복잡성에 대처할 수 있는 유연성과 확장성을 가지는 정보구조화 공간의 설계방법과 이를 기반으로 하는 시스템 운용방법의 개발이 요구되고 있다.

본 논문은 이러한 문제들의 해결책에 대한 하나의 접근 방법으로써 도서관에서 서적을 정리하기 위해 설계된 사서로봇을 효율적으로 제어하고 관리하기 위해 필요한 공간의 구조화 방법과 환경지능 시스템을 제안한다. 사서로봇 시스템의 기본적인 목적은 인간이 맡기는 책을 색인에 맞추어 책장에 수납하는 것이다. 따라서 제안된 시스템을 위한 요구사항을 다음과 같이 요약할 수 있다.

- 로봇에게 맡겨지는 책의 종류와 수는 임의로 결정된다.
- 복수의 높은 책장이 로봇의 시야를 방해할 수 있으므로 이를 극복할 수 있는 주행방법을 사용하여야 한다.
- 로봇은 책을 집고 놓는 등의 조작동작이 가능하여야 하고 책의 종류를 파악할 수 있어야 한다.
- 책의 수납범위는 책의 색인에 따라 결정되고, 로봇은 수납범위 내의 빈공간을 찾아서 책을 수납하여야 한다.
- 책장은 책이 반입되거나 반출되는 동작을 인식하여 도서 데이터베이스를 갱신하고 결과를 사용자에게 보고할 수 있어야 한다.

주어진 요구조건을 만족시키기 위해서 사서로봇은 임의로 주어지는 책을 인식하고 이를 집어 올려서 책의 종류를 알아낸 후에 정리를 위해 이동하고 책장의 빈 곳에 적절히 수납할 수 있는 기능을 가지도록 설계되었다. 따라서 전체 시스템은 이동 매니플레이터 형태의 사서로봇과 책의 수납상태를 확인하기 위한 책장, 그리고 좁은 공간에서도 로

봇의 위치정보를 제공할 수 있는 지능바닥(iFloor, Intelligent Floor)으로 구성된다. 그리고 로봇과 책장 등의 정보를 관리하는 공간기능 서비스(Ubiquitous Function Services)는 로봇의 동작에 필요한 환경정보 데이터베이스와 책의 데이터베이스를 관리하고 정보를 제공하는 정보(Information) 서비스와 RFID 태그리더와 같은 정보기기, 사서로봇 이동 플랫폼의 모터, 책장 등을 위한 객체(Object) 서비스, 그리고 정보 서비스와 객체 서비스의 기능모듈을 이용하여 시스템의 거동을 제어하는 논리(Logic) 서비스 등의 세가지 서비스를 네트워크를 통해 제공함으로써 사서로봇 시스템 및 정보 구조화 공간을 관리한다.

### 3. 시스템의 구현

본 논문은 RFID 태그를 가상공간(Virtual Space)의 지식 데이터베이스와 물리공간의 객체를 연결하는 물리적 하이퍼링크(hyperlink)로써 활용하여 유비쿼터스 로봇을 위한 관리 시스템을 개발하고, 환경지능의 개념에 기초하여 분산된 센서들로부터의 정보를 주어진 작업에 맞게 적절히 이용함으로써 신뢰할 수 있는 로봇 시스템을 구축하는 것에 그 목적을 두고 있다. 이를 위하여 책을 운반하고 조작하는 사서로봇을 위한 정보구조화 공간과, 책의 상태와 정보를 관리하는 지능책장, 그리고 바닥에 일정한 간격으로 놓여져 있는 RFID 태그를 이용하여 로봇에게 현재의 위치 정보를 제공하는 지능바닥과 같은 환경지능 시스템을 본 절에서 제안한다.

#### 3.1 정보 구조화 공간

기존의 산업용 로봇은 구체적 사양이 정해진 목적을 위하여 개발됨으로써 이에 맞춰진 매카니즘을 가지고 목표 지향적인 제어방법을 사용하였다. 물체의 조작방법은 로봇의 기구학적 특징에 의한 제약조건이 있었으며, 작업은 항상 같은 조건하에서 이루어짐으로써 로봇 시스템의 제어구조는 외부의 환경변화나 다루는 물건의 변화를 고려하지 않은 폐쇄적인 형태를 가지고 있었다. 결과적으로 주어진 조건에 기초하여 하드웨어와 소프트웨어가 최적화되었고 환경조건의 변화가 없는 공간에서 같은 동작만을 반복적으로 실행했을 때 최적의 성능을 보장할 수 있었다. 그러나 최근의 로봇 애플리케이션은 공장과 같은 목적이 뚜렷하고 고정된 환경으로부터 가정환경과 같이 변화가 심하고, 주어지는 임무가 다양한 환경으로 그 적용 범위가 넓어지고 있다. 따라서 개방된 환경에서 여러종류의 작업을 수행할 수 있는 로봇 시스템과 제어 시스템의 개발이 필요하게 되었다.



그림 1. 정보구조화 공간 u-RT Space

이러한 요구조건들을 충족시키기 위하여 본 연구는 로봇에게 주어지는 작업이 바뀌거나, 로봇이 다루어야 할 대상 또는 로봇 자체가 바뀌어도, 로봇이 주위환경에 주어진 작업을 수행하기 위해 필요한 정보를 묻고, 필요한 지식을 습득함으로써, 상태변화가 심한 생활환경에서도 쉽게 적용할 수 있도록 로봇 시스템과 구조화된 환경을 개발하는데 그 목적을 두었다. 그리고 로봇을 위한 지식분산 제어 시스템<sup>11, 10)</sup>에 기초하여 공간과 물체에 대한 정보와 지식이 분산되어 있는 가상 공간과 일상의 사물, 그리고 위치 추정 센서 시스템과 같은 다양한 환경에 침투된 센서 시스템이 존재하는 물리공간을 각각 설계하고, 두 가지 공간이 유기적으로 연결될 수 있도록 환경지능에 기초하여 정보구조화 공간을 설계하고 개발하였다.

그림 1은 유비쿼터스 로봇과 환경지능이 존재하는 정보구조화 공간을 위해 개발된 u-RT(ubiquitous Robot Technology) Space를 보여주고 있다. 다양한 환경지능 시스템이 생활공간에 침투된 센서 및 네트워크 시스템에 기초하여 개발되었으며, 본 논문에서 소개되는 사서로봇 시스템과 이를 위한 지능책장이 그 대표적인 예라 말할 수 있다.

### 3.2 증강공간과 증강사물

시간에 따라 변화하는 일상생활 환경에서 로봇이 주어진 작업을 완수하기 위해서는 다루고자 하는 대상이 되는 물체 및 공간에 대한 정보와 지식을 실시간으로 습득함으로써 변화에 강인하게 적용할 필요가 있다. 본 연구에서는 지식분산 제어방법을 이러한 문제에 대한 해결책으로 제안한다. 지식분산 제어방법은 변화하는 환경에서 다양한 종류의 로봇이 여러가지 작업을 수행할 수 있도록 작업에 필요한 지식을 웹(Web)의 가상적 자원으로 표현하고, 로봇이 이를 필요로 할 때 네트워크를 통해 실시간으로 제공함으로써 로봇 시스템을 효율적으로 운용할 수 있게 만들어 주

는데 그 목적이 있다. 따라서 로봇은 조작하고자 하는 대상이 되는 물체를 정확하게 인지하는 것이 중요하며, 대상 물체의 지식에 접근해 필요한 정보를 습득함으로써 작업을 완수할 수 있다. 이러한 목적을 위하여 본 연구에서는 일상생활의 공간 또는 사물을 정보공간과 연결시키기 위한 방법으로 물리적 하이퍼링크를 제안한다. HTML 형식의 하이퍼링크와 비교되어 물리적 하이퍼링크는 코드화된 텍스트나 이미지와는 달리 태그가 붙여진 물리적 사물로써 나타내진다. 로봇은 다루고자 하는 객체의 물리적 하이퍼링크에 접속함으로써 주어진 객체의 조작에 필요한 정보나 지식 또는 서비스에 접근할 수 있다. 본 연구에서는 사서로봇이 물리적 공간과 사물을 효율적으로 이용하여 주어진 작업을 완수할 수 있도록 물리적 하이퍼링크에 기초하여 구성되는 공간지능 서비스를 웹서비스를 이용하여 개발하고, 환경지능 시스템을 구현하기 위한 방법으로 제안한다.

물리적 사물을 가상적으로 표현되는 지식과 연결하는 방법은 생활공간을 정보공간과 연결하고 일상의 사물을 정보적 사물(Informative Object)로 만들고자 하는 연구로부터 시작되어, 컴퓨터 네트워크의 발전과 더불어 커다란 주목을 받았다<sup>11-13)</sup>. 특히 전자태그를 물리적 하이퍼링크로 사용하여 일상의 물체를 정보화하는 연구는 가상적 세계와 물리적 세계를 연결하는 구체적인 실증의 예로 제시되었다<sup>14, 15)</sup>. 따라서 본 연구에서는 RFID 태그를 물리적 공간과 사물을 웹상의 가상적 자원에 연결하는 물리적 하이퍼링크로써 이용하여 증강공간(Augmented Space)과 증강사물(Augmented Everyday Objects)을 설계한다.

### 3.3 사서로봇 시스템

그림 2에 보여지는 사서로봇 시스템은 인간이 맡기는 책을 책장에 수납하기 위해서 개발되었다. 따라서 사서로봇 시스템은 책을 인식하고 조작하기 위한 필수적인 여러 가지 장치들을 가지고 있다. 이동선반에 놓여진 책과 책장의 빈공간을 인식하기 위한 레이저와 카메라로 구성되는 핸드아이(Hand-Eye) 시스템, 책을 정확히 선택하여 다른 책과의 간섭을 최소화하고 책의 유연한 조작을 위해 설계된 로봇핸드(Robot Hand)와 7자유도 매니퓰레이터(Manipulator), 이동선반으로부터 책을 집어내거나 책장에 책을 집어 넣을 때 생기는 힘을 제어하기 위한 힘/토크(Force/Torque) 센서, 책을 운반하기 위한 모바일 플랫폼, 바닥에 묻혀있는 RFID 태그의 정보를 읽어서 로봇의 현재 위치를 파악하고 이를 이용해서 로봇이 주행하기 위한 바닥 RFID 태그리더, 그리고 이동선반에 있는 책의 종류와



그림 2. 사서로봇 시스템

관련정보를 파악하기 위한 RFID 태그리더 등이 이러한 장치에 속한다.

### 3.4 지능책장

책장에 정리되어 있는 책의 종류를 확인하고, 책이 책장에서부터 뽑혀지고 또한 놓여지는 동작을 감지하기 위하여 본 연구에서는 그림 3에 보여지는 RFID 태그를 부착한 책과 이를 인식하고 네트워크를 통해 책에 대한 정보와 지식을 전달받을 수 있는 지능책장 시스템을 개발하였다. 제안된 지능책장은 6개의 RFID 리더 모듈(module)을 가지고 있고 각각의 모듈은 병렬적으로 놓여진 6개의 RFID 태그리더를 가지고 있어서 수납되어 있는 책의 상태를 확인할 수 있다. 또한 데이터베이스에 접속하여 책에 대한 정보를 받아오거나 책장에 꽂혀 있는 책들의 상태정보를 갱신할 수 있다. 그리고 사용자는 실시간으로 6개의 선반의 ID에 따라 갱신되는 책에 대한 정보를 웹 어플리케이션을 통해 확인할 수 있고, 예약되어 있는 책이 책장으로 돌아왔는지를 e-mail을 통해 통보 받을 수 있다.



그림 3. 지능책장

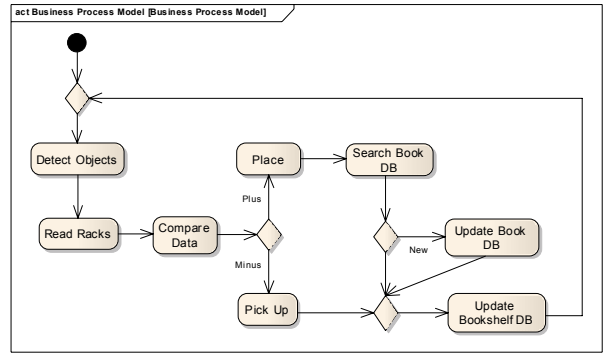


그림 4. 지능책장을 위한 UML Activity Diagram

책이 뽑히거나 놓여지는 동작은 사람이나 로봇에 의해서 이루어지므로 책장에 사람이나 로봇의 접근이 있을 때에만 책의 정보를 갱신한다. 로봇이 가진 센서가 로봇 주위의 영역만을 측정할 수 있는 것에 비하여 환경에 침투되어 있는 센서는 로봇이 알 수 없는 영역에 대한 정보를 제공함으로써 로봇의 동작계획에 도움을 줄 수 있다. 예를 들면 영역이 연결되는 코너에서 로봇은 자신 주위의 영역에 대한 정보만을 취득하므로 코너 반대편의 영역에 대한 정보를 얻을 수 없다. 이런 경우에 코너에 설치된 LRF 센서는 양쪽 영역에 대한 모든 정보를 취득할 수 있으므로, 이 정보를 로봇에게 전달하여 로봇이 원하는 동작을 계획할 수 있도록 도울 수 있다. 본 연구에서는 이를 위하여 책장이 놓여 있는 코너 영역에 LRF 센서를 설치하고 로봇이나 사람이 책장으로 접근하는 동작을 감지하도록 하였다. 따라서 사람과 로봇의 충돌을 방지할 수 있고 또한 지능책장 시스템은 사람이나 로봇의 접근이 있는지를 확인하여 책장의 상태를 갱신할 수 있다. 만약 동작이 감지되어 책장의 상태 갱신이 이루어지면 저장되어 있는 책장의 데이터베이스와 비교되어 뽑혀지는 또는 놓여지는 책의 종류를 확인할 수 있다. 뽑혀지는 경우는 간단히 책장의 데이터베이스만을 갱신함으로써 작업이 끝나게 되지만 놓여지는 경우는 새로운 책인지를 확인 후 책의 데이터베이스를 갱신하는 작업을 거친 후 책장의 데이터베이스를 갱신한다. 그림 4는 지능책장에 책이 놓여지거나 뽑혀질 때 발생하는 책장의 반응을 나타내는 UML activity diagram이다.

### 3.5 지능바닥

실제공간에 대한 정보가 가상공간에 미리 저장되고 로봇이 현재위치와 환경에 대한 정보를 가상공간에 접근하여 찾아낼 수 있다면, 로봇은 쉽게 현재위치를 파악할 수 있고, 이를 이용해서 목적위치까지 주행할 수 있을 것이다. 지식분산 제어에 기초한 이러한 위치추정 방법은 물리적

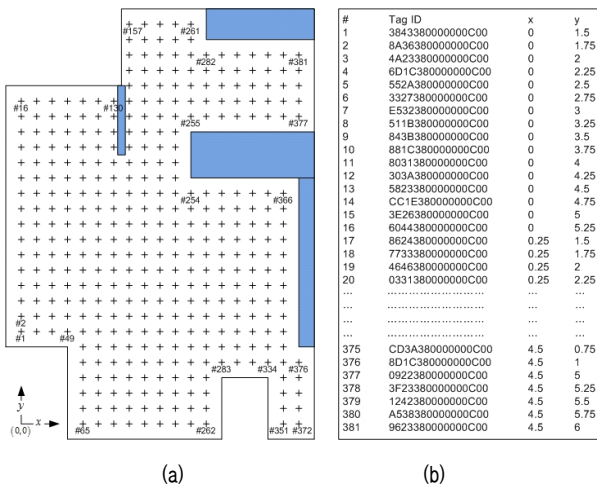


그림 5. 지능바닥(iFloor) (a) 지능바닥의 태그배치 (b) 지능바닥 데이터베이스 테이블

하이퍼링크에 기초하여 로봇의 위치인식, 경로계획과 주행이 포함된 많은 문제점을 해결할 수 있다. 따라서 가상적 정보공간을 위한 시스템은 정보와 지식을 네트워크를 통해 분산하여 저장하고 물리공간에 정보와 지식에 대한 URL 주소를 부여한다. 결과적으로 물리적 공간과 가상적 공간을 연결시킬 수 있는 정보의 매개체를 이용하여 로봇은 간단히 환경을 인지하고 위치를 추정할 수 있다.

제안된 방법에 기초하여 높은 책장이 있는 환경에서도 사서로봇이 자신의 위치를 추정할 수 있도록 u-RT Space에 약 400개의 RFID 태그를 그림 5 (a)와 같이 방의 왼쪽 아래 모서리를 원점으로 하는 x, y 축에 대하여 25cm 간격으로 배치하였다. 각각의 태그는 자신의 위치정보를 데이터베이스에 그림 5 (b)와 같이 저장하고 로봇은 이 정보를 기반으로 하여 네개의 태그리더로부터 읽혀지는 정보를 데이터베이스의 위치정보와 비교하며 자신의 위치를 추정한다.

정리가 필요한 책이 사서로봇의 이동선반에 놓여지면 로봇은 이것을 작업의 시작으로 판단하고 책이 꽂혀야 되는 책장의 위치로 이동하게 된다. 따라서 로봇이 자신의 위치를 추정하면서 동시에 목표지점으로 주행하기 위한 주행 알고리즘이 필요하게 된다. 이를 구현하기 위해서 공간기능 서비스에서 제공하는 공간기능 논리 서비스는 사서로봇이 지닌 네개의 바닥 태그리더의 기능을 제어하는 공간기능 객체 서비스와 지능바닥의 태그정보를 제공하는 공간기능 정보 서비스를 동시에 호출한다. 공간기능 논리 서비스가 제공하는 로봇주행을 위한 기능은 다음과 같은 과정으로 표현된다.

- 현재위치를 추정하기 위하여 객체 서비스가 제공하는 네개의 바닥 태그리더의 기능을 이용하여 바닥태그를

읽는다.

- 얻어진 태그 ID를 정보 서비스가 제공하는 데이터베이스 기능의 입력값으로 사용하여 지능바닥의 태그 데이터베이스로부터 현재위치를 알아낸다.
- 현재위치로부터 목표위치로 이동하기 위한 경로계획을 실시하고, 경로에 놓여있는 바닥태그의 정보를 얻는다.
- 경로에 존재하는 RFID 태그를 로봇이 가진 네개의 바닥 태그리더를 이용해 식별하면서, 목표위치로 이동한다.

그림 6은 지능바닥의 RFID 태그와 모바일 플랫폼에 부착되어 있는 네개의 태그리더, 그리고 태그의 ID를 인식해서 사서로봇의 현재위치를 공간기능 논리 서비스에 제공하고 이를 이용해서 사서로봇이 수행하는 공간기능들 사이의 관계를 보여주고 있다.

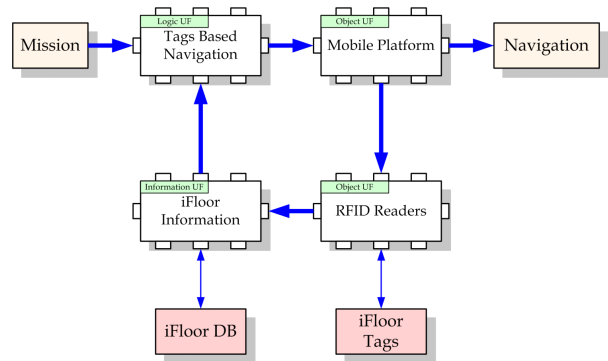


그림 6. 사서로봇의 주행을 위한 공간기능 서비스의 컴포넌트 구성

### 3.6 로봇 미들웨어

제안된 시스템은 다양한 하드웨어 시스템을 가지고 있고 각각의 시스템은 소프트웨어컴포넌트(Component)와 연결되어 제어될 수 있도록 설계되며, 작업수행에 필요한 논리요소 또한 소프트웨어 컴포넌트로 분산시킴으로써 지식 분산 제어방법에 기초하여 설계되었다. 따라서 모든 하드웨어 및 소프트웨어 시스템을 심리스로 연결하기 위한 미들웨어를 사용하여 시스템의 효율을 향상시켰다. 본 연구에서는 정보의 취득과 관리, 제공과 연관된 기능모듈의 제어를 위해서 웹서비스에기초한 공간기능 서비스를 이용하였고, 실시간으로 제어되는 매니플레이터와 로봇핸드를 위해서 RT 미들웨어를 이용하였다.

## 4. 실험 및 결과

RFID 태그를 물리적 하이퍼링크로 이용한 정보구조화

공간과 이에 기초한 환경지능 시스템의 성능을 검증하기 위하여 사서로봇의 책정리 작업에 대한 시나리오를 실현하고 결과를 검토하였다. 지능바닥의 RFID 태그를 이용한 사서로봇의 주행을 위하여 스테핑 모터로 구동되는 이동 플랫폼에 바닥의 태그를 읽기 위한 네개의 태그리더가 설치되었다. 산업용 매니플레이터 Mitsubishi PA10을 사서로봇의 매니플레이터로 이용하였고, 핸드아이 비전 시스템을 IEEE 1394 카메라와 레이저를 이용하여 구성하였다.

사서로봇의 매니플레이터와 로봇핸드를 제어하기 위한 RT 미들웨어 기반의 제어용 컴퓨터가 사서로봇의 안쪽에 장착되었고, 이동플랫폼은 네트워크에 연결된 RT-Unit을 통해 공간지능 서비스에 의하여 제어되었다. 공간지능 서비스를 구현하기 위하여 책 및 지능바닥에 들어있는 RFID 태그의 정보를 저장하기 위한 데이터베이스 서버가 구성되었고, 지능책장의 정보를 실시간으로 확인하고 또한 지능바닥의 정보를 로봇에 전달하기 위한 기능이 공간지능 서비스에 기초하여 구성되었다. 환경지능 시스템의 정보를 전달받아서 사서로봇 동작을 제어하기 위한 사서로봇 동작계획 서버가 사서로봇의 제어서버와 별도로 구성되었고, Python을 이용해서 공간지능 서비스에서 제공하는 제어모듈과 RT 미들웨어 기반의 로봇 제어모듈을 모두 사용하여 동작계획이 가능하도록 설계되었다.

실험을 통해 얻어진 사서로봇 시스템의 책정리 작업의 전체 과정을 그림 7에 순차적으로 보여주고 있고 순서에 따라서 다음의 과정을 수행한다.

- 1) 임의의 위치에서 이동선반에 책이 수납되기를 기다린다.
- 2) 책이 이동선반에 수납되면 책장 쪽으로 이동을 시작한다.
- 3) 책장 앞의 정해진 위치에 도착하면 수납해야 할 책을 고르기 위하여 레이저와 카메라를 이용하여 이미지를 얻는다.
- 4) 집어 올려지는 책을 구별하기 위하여 이동선반의 태그리더를 이용하여 모든 책의 태그를 읽어 들인다.
- 5) 로봇핸드에 붙어 있는 힘/토크 센서를 이용하여 집어 올릴 책을 구분한다.
- 6) 책을 집어 올리는 동작을 수행하고 이동선반의 태그리더를 이용하여 남아있는 책들의 태그 ID를 읽어 들인다.
- 7) 집어 올려진 책의 ID를 4)와 6)에서읽어들인 태그 ID 값들을 이용해서 알아내고, 수납을 위한 책장선반의 목표위치로 이동한다.
- 8) 레이저와 카메라를 이용해서 목표선반의 빈공간을 찾아내고, 힘/토크 센서로부터의 정보를 이용하여 힘 제어를 실시하면서 수납작업을 실행한다.
- 9) 이동선반에 남아 있는 책들을 다시 수납하기 위하여

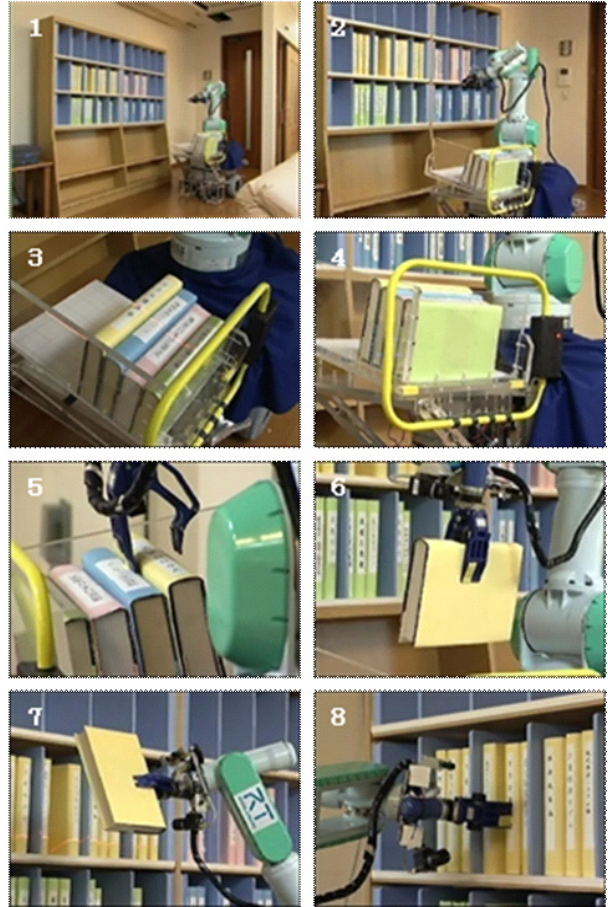


그림 7. 사서로봇이 지능바닥의 태그를 이용해 이동하고 지능책장에 책을 수납하는 과정

매니플레이터는 카메라가 책을 인식할 수 있는 위치로 이동한다. 3)에서 8)의 동작을 반복해서 수행하여 이동선반의 모든 책을 수납한다. 이때 집어 올려진 책을 현재위치에서 수납할 수 없는 경우는 목표선반에 수납이 가능한 위치로 모바일 플랫폼이 이동한다.

## 5. 결론

본 논문에서는 지능책장, 지능바닥과 같은 사서로봇을 지원하기 위한 환경지능 시스템과 물리공간과 가상공간을 정보적으로 연결시켜주는 정보구조화 공간 u-RT Space가 소개되었다. 지능책장은 RFID 리더를 책장에 심어 넣는 것으로 인간이나 로봇이 책을 고르거나 책을 선반에 수납할 때 생기는 서적 데이터베이스의 변화를 감지하도록 설계되었고, 이러한 정보의 변화를 웹응용 프로그램을 통해 제공하는 기능을 실현하였다. 그리고 지능바닥에는 RFID 태그를 분산배치하고 로봇이 태그를 인식하여 자신의 위

치를 추정하며 주행하는 기능을 실현하였다. 전체 시스템의 제어를 위하여 로봇과 공간의 정보를 취득, 관리, 제공하기 위한 공간지능 서비스를 제안하였고, 사서로봇의 책정리 시나리오를 이용해 제안된 시스템의 성능을 검증하였다.

### 참고문헌

- [1] B. K. Kim, K. Ohba, S. Hirai, and K. Tanie, "Web services and ubiquitous control platform for the knowledge distributed robot system," in Proc. 2004 IEEE/RSJ Int. Conf. Intelligent Robots and Systems (IROS2004) Workshop - Network Robot System Japan, 2004, pp. 31-36.
- [2] B. K. Kim, M. Miyazaki, K. Ohba, S. Hirai, and K. Tanie, "Web services for a robot in the ubiquitous environment," in Proc. 2004 FIRA Robot World Congress (FIRA2004) Busan, Korea, 2004, pp. 218.
- [3] M. Prats, R. Ramos-Garijo, P. J. Sanz, and Á. P. Del Pobil, "Recent progress in the UJI librarian robot," in Proc. 2004 IEEE Int. Conf. Systems, Man & Cybernetics, 2004.
- [4] J. Suthakorn, S. Lee, Y. Zhou, R. Thomas, S. Choudhury, and G. S. Chirikjian, "A robotic library system for an off-site shelving facility," in Proc. 2002 IEEE Int. Conf. Robotics & Automation (ICRA2002), 2002, pp. 3589-3594.
- [5] T. Tomizawa, A. Ohya, and S. i. Yuta, "Book browsing system using an autonomous mobilerobot teleoperated via the internet," in Proc. 2002 IEEE/RSJ Int. Conf. Intelligent Robots & Systems (IROS2002), 2002, pp. 1284-1289.
- [6] T. Tomizawa, A. Ohya, and S. i. Yuta, "Remote book browsing system using a mobile manipulator," in Proc. 2003 IEEE Int. Conf. Robotics & Automation (ICRA2003), 2003, pp. 256-261.
- [7] T. Tomizawa, A. Ohya, and S. i. Yuta, "Object posture recognition for remote book browsing robot system," in Proc. 2003 IEEE/RSJ Int. Conf. Intelligent Robots & Systems (IROS2003), 2003, pp. 3218-3223.
- [8] B. K. Kim, M. Miyazaki, K. Ohba, S. Hirai, and K. Tanie, "Web services based robot control platform for ubiquitous functions," in Proc. 2005 IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation (ICRA2005) Barcelona, Spain, 2005, pp. 703-708.
- [9] N. Ando, T. Suehiro, K. Kitagaki, T. Kotoku, and W.-K. Yoon, "RT-Middleware: distributed component middleware for RT (Robot Technology)," in Proc. 2005 IEEE/RSJ Int. Conf. Intelligent Robots and Systems (IROS2005), 2005, pp. 3555-3560.
- [10] B. K. Kim, N. Tomokuni, K. Ohara, K. Ohba, T. Tanikawa, and S. Hirai, "Ubiquitous function services based control for robots with ambient intelligence," in Proc. 32nd Annual Conf. IEEE Industrial Electronics Society (IECON'06) Paris, France, 2006, pp. 4546-4551.
- [11] R. Barrett and P. P. Maglio, "Informative things: how to attach information to the real world," in Proc. UIST'98, 1998, pp. 81-88.
- [12] N. A. Streitz, "Integrated design of real architectural spaces and virtual information spaces," in Proc. CHI98, 1998, pp. 263-264.
- [13] B. L. Harrison, K. P. Fishkin, A. Gujar, D. Portnov, and R. Want, "Bridging physical and virtual worlds with tagged documents, objects and locations," in Proc. CHI99, 1999, pp. 29-30.
- [14] R. Want, K. P. Fishkin, A. Gujar, and B. L. Harrison, "Bridging physical and virtual worlds with electronic tags," in Proc. CHI99, 1999, pp. 370-377.
- [15] T. Kindberg, "Implementing physical hyperlinks using ubiquitous identifier resolution," in Proc. 2002 Int. Conf. World Wide Web (WWW2002), 2002, pp. 191-199.



**김 봉 근**

- 1994 부산대학교 생산기계공학과 (공학사)
- 1996 포항공과대학교 기계공학과 (공학석사)
- 2001 포항공과대학교 기계공학과 (공학박사)

2005~현재 일본 산업기술종합연구소(AIST) 연구원  
관심분야 : Ambient intelligence, Ubiquitous robotics



**Kohtaro Ohba**

- 1986 Tohoku University Mech. Engineering(공학사)
- 1988 Tohoku University Mech. Engineering(공학석사)
- 1991 Tohoku University Mech. Engineering(공학박사)

2009~현재 Group Leader of Dependable Systems Research Group, Deputy Director of Intelligent Systems Research Institute, AIST, Japan

관심분야 : Distributed knowledge robot control, Micro VR camera system, Tele-operation, Object recognition, Human interface, Visualization