

# Container 성질과 중력을 고려한 공간과 객체의 통합적 공간관계 표현 모델

## (A Comprehensive Representation Model for Spatial Relations among Regions and Physical Objects considering Property of Container and Gravity)

박 종 희 <sup>†</sup>                      임 영 재 <sup>††</sup>  
(Jong-Hee Park)                      (Young-Jae Lim)

**요 약** 실세계의 공간이나 이에 대응되는 가상세계의 공간은 공간의 일부인 지역(region)들과 그것들을 차지하고 있는 물리적 객체(physical object)들로 구성되어 있다. 이러한 공간 구성요소들간의 공간관계의 표현의 실제와의 부합성과 다양성은 이러한 공간에서 활동하는 에이전트의 공간관계 추론이나 이벤트(event)의 전개와 사실성과 정교함의 바탕이 된다. GIS나 AI 분야에서 연구되고 있는 기존의 공간관계 모델들은 객체의 규모에 따라 이원화된 영역에 적절한 모델들이거나 제한된 위상관계만 표현할 수 있기 때문에 다양한 지역과 객체를 가진 일반적 공간의 통합적 표현에는 부적합하다. 본 연구에서 개발된 공간표현 모델은, 첫째 대규모 공간과 소규모 공간 관계에 통합적으로 적용가능한 계층구조를 바탕으로 구성한다. 둘째, 소규모 객체들간에도 disjoint나 touch와 같이 제한된 위상 공간관계(topological relations)만이 아닌 접촉관계와 구성요소객체들의 조합을 바탕으로 하여 충분히 다양한 공간관계를 표현할 수 있도록 세분화한다. 셋째, solid object에 대비되는 container성질을 추가하고 중력 방향을 고려하여 공간관계를 추가로 다양화한다. 본 연구의 결과인 중력의 영향을 고려한 통합적 공간관계 모델은 컴퓨터상에서 실세계와 유사한 복잡한 가상공간을 공간적 사건들과 연관지어 정밀하게 시뮬레이션할 수 있게 하고 가상공간에서 에이전트들이 행동을 할 때 공간적 측면의 상황판단을 할 수 있도록 가상공간에 대한 에이전트들의 공간적 지식을 표현하는 수단을 제공한다.

**키워드** : 물리적 객체, 공간 관계, container 성질, 중력

**Abstract** A space, real or virtual, comprises regions as its parts and physical objects residing in them. A coherent and sophisticated representation scheme for their spatial relations premises the precision and plausibility in its associated agents' inferencing on the spatial relations and the development of events occurring in such a space. The existing spatial models are not suitable for a comprehensive representation of the general spatial relations in that they have limited expressive powers based on the dichotomy between the large and small scales, or support only a small set of topological relations. The representation model we propose has the following distinctive characteristics: firstly, our model provides a comprehensive representation scheme to accommodate large and small scale spaces in an integrated fashion; secondly, our model greatly elaborated the spatial relations among the small-scale objects based on their contact relations and the compositional relations among their respective components beyond the basic topological relations like disjoint and touch; thirdly, our model further diversifies the types of supported relations by adding the container property besides the solidity together with considering the gravity direction. The resulting integrated spatial

· 이 논문은 BK21 경북대학교 인력양성 사업단의 지원을 받아 연구하였습니다.

<sup>†</sup> 정 회 원 : 경북대학교 전자전기컴퓨터학부 교수  
cooky8884@ee.knu.ac.kr

<sup>††</sup> 비 회 원 : 경북대학교 전자전기컴퓨터학부  
youngjae77@ee.knu.ac.kr

논문접수 : 2008년 5월 28일

심사완료 : 2010년 1월 7일

Copyright©2010 한국정보과학회 : 개인 목적이나 교육 목적인 경우, 이 저작물의 전체 또는 일부에 대한 복사본 혹은 디지털 사본의 제작을 허가합니다. 이 때, 사본은 상업적 수단으로 사용할 수 없으며 첫 페이지에 본 문구와 출처를 반드시 명시해야 합니다. 이외의 목적으로 복제, 배포, 출판, 전송 등 모든 유형의 사용행위를 하는 경우에 대하여는 사전에 허가를 얻고 비용을 지불해야 합니다.

정보과학회논문지 : 소프트웨어 및 응용 제37권 제3호(2010.3)

knowledge representation scheme considering the gravity allows the diverse spatial relations in the real world to be simulated in a precise manner in relation to the associated spatial events and provides an expression measure for the agents in such a cyber-world to capture the spatial knowledge to be used for recognizing the situations in the spatial aspects.

**Key words** : Physical object, Spatial relation, Container property, Gravity property

## 1. 서론

공간관계(spatial relation)의 표현은 현실세계 뿐만 아니라 그에 대응되는 요소들을 묘사하는 가상세계(cyber situations)의 구축에도 중요한 주제가 되고 있다[1,2]. 실제공간이든 가상공간이든 다양한 크기와 모양의 공간들이 상호 연관성을 가지고 공간을 이루고 있다. 이러한 실제적인 공간에서 활동하기 위해서는 공간관계에 대한 추론이 필수적이고 이의 바탕이 되는 공간관계의 종합적 표현이 필수적이다. 공간의 구성요소인 물리 객체(physical object)는 공간을 점유하는 동시에 다른 객체가 거주할 수 있는 공간을 제공한다. 이러한 관점은 대규모 및 소규모의 공간들을 통합적으로 표현할 수 있는 방법의 바탕을 제공한다[2]. 위상학적인 관점에서 물리 객체는 내부공간의 제공 유무에 따라 Solid object와 Hollow object로 분류할 수 있다. Solid object는 외부공간만을 제공하는 객체이며 Hollow object는 외부공간과 내부공간을 모두 제공하는 객체이다[3]. 객체는 인지적인 관점에서 내부공간을 제공하는 경우 Container 성질을 가지는 객체가 될 수 있다[4-6]. 앞서 설명한 물리 객체들은 서로 공간관계를 형성하며 그 관계는 가상 환경 상에서 이벤트의 전개, 에이전트의 추론 등을 위한 인자로 사용된다[7]. 공간관계가 추론의 인자로 사용되기 위해서는 명시적인 표현 메커니즘이 있어야 한다[8].

현재 많은 분야에서 Topology를 이용하여 객체간의 공간관계를 규명하기 위한 시도가 있어왔다[1,3,4,6,9]. 예를 들어 GIS분야에서는 공간지역간의 관계를 규명하기 위해 4교차 모델(4-intersection model)이나 9교차 모델(9-intersection model)을 이용하여 disjoint, contain, inside, equal, meet, covers, covered by, overlap 등의 관계들로 나누고 있다[10,11]. 하지만 대규모 공간상의 공간지역에는 적용이 가능하나 소규모 공간상의 같은 공간을 점유할 수 없는 물리 객체간의 관계를 표현하기에는 부적절하다[6]. 이에 GIS에서도 대규모 공간이 아니라 소규모 공간상에서도 적용 가능한 이론을 제시하였다[5]. 이것은 Image Schemata 상에서 얻어지는 객체의 성질인 Container와 Surface를 이용하여 물리 객체 간에 적용할 수 있는 공간관계 모델을 고안하였다. 하지만 제공되는 객체가 상자, 공, 탁자, 종이, 펜, 방으로서 그 수가 제한적이며 제공되는 관계 또한 inside, outside, contain, omit, on, off support, separated\_from,

equal로서 다양한 공간관계를 제공하지 못하고 있다.

가상현실(virtual reality) 분야에서는 물리 객체간의 관계를 표현하기 위해 공간관계를 topological relation (disjoint, touch, contain, equal), orientation relation (before, rightof, above, after, leftof, below middleof), directional relation(northof, eastof, up, southof, westof, down)으로 구분하여 제시하고 있다[12]. 하지만 물리 객체간의 위상 공간 관계를 표현하기 위해 GIS에서 사용되는 모델을 이용하여 필요한 관계만을 선택하는 형식으로 연구되고 있어 일반적인 물리 객체들로 구성된 상황에 적용할 수 있는 새로운 모델을 확립할 필요성이 있다. Region Connection Calculus에 기반한 RCC-8 모델은 지역의 내부와 경계를 구분하여 두 지역 사이의 관계를 표현했으나 여전히 위상관계에만 머문다[13].

이에 우리는 가상환경에 물리객체간의 접촉에 기반한 다양한 공간관계를 표현할 수 있는 Contiguity Graph를 기반으로 한 계층적 공간관계 표현 메커니즘을 개발했다[13]. 실세계와 유사한 가상환경에서 물리법칙인 중력이 고려된 실제와 가까운 공간관계를 제공할 수 있지만 이러한 모델은 MBR(minimum boundary rectangle)로 단순화된 형태의 객체들에만 적용이 가능하기 때문에 다양한 형태를 가진 물리 객체간의 공간관계를 표현할 수 없고 실세계에서 많이 접하는 물리 객체인 Container들의 공간관계를 표현하지 못한다.

본 연구에서 개발될 공간 관계 표현 모델은 아래의 특징들을 가지도록 설계된다. 첫째 대규모 공간과 소규모 공간 관계에 통합적으로 적용가능한 한 계층구조를 바탕으로 구성한다. 둘째, 소규모 객체들간에도 disjoint나 touch와 같이 제한된 위상 공간관계(topological relations)만이 아닌 접촉관계를 바탕으로 충분히 다양한 공간관계를 표현할 수 있도록 세분화한다. 셋째, MBR로 정형화된 모양만이 아닌 복잡한 객체들의 구성요소 객체들의 관계도 고려하여 관계를 다양화 한다. 넷째, solid object에 대비되는 container성질을 추가하고 중력 방향을 고려하여 공간관계를 추가로 다양화한다.

본 논문에서는 먼저 Container 성질을 가진 물리 객체에 적용이 가능한 공간 관계 모델(spatial relation model)을 제안하고자 한다. 먼저 Point-set Topology를 이용하여 Solid object와 Hollow object, Container 성질을 정의하고 CSG-tree를 이용하여 이러한 객체를 모델링하는 방법을 간략하게 소개한다. 그리고 4-inter-

section model을 개선하여 여러 유형의 물리 객체에 적용할 수 있는 통합된 Intersection Model을 제안한다. 또한 중력의 방향을 고려하여 공간관계를 다양화함으로써 가상상황의 에이전트나 실제 인간이 인지할 수 있는 공간관계를 최대한 다양하게 표현할 수 있게 하는 공간관계 표현 모델을 개발한다. 마지막으로 이러한 공간관계 정보를 도식화하기 위해 물리 기반 공간 관계 그래프(PSRG)를 구성한다. 결과적으로, 본 공간관계 표현 모델은 지역들과 객체들, solid 및 hollow 객체들, 여러 요소들로 구성된 복합적 객체들 그리고 중력방향에 관련된 다양한 공간관계를 통합적으로 수용함으로써 실제 공간 속의 공간관계 표현이나 실제공간과 유사한 가상 공간을 구축할 수 있게 된다. 따라서 실제세계의 공간관계 추론이나 가상세계의 에이전트가 논리적으로 공간적 행위를 수행할 수 있는 기반을 마련하게 된다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2절에서는 본 연구와 관련된 기존 공간 관계에 대한 연구들을 조사하였다. 3절에서는 point-set topology 개념을 도입하여 공간을 가정하고 물리적 객체, Solid object, Hollow object, Container를 정의하며 제약조건(Constraint)이 추가된 CSG-tree를 이용하여 앞에서 설명한 객체들을 모델링하는 방법을 간략하게 소개한다. 그리고 4절에서는 SRG를 구성하기 위한 사전 단계로서 Container성질을 가질 수 있는 객체들간의 위상 공간 관계를 규명하고 실 세계와 유사한 공간관계를 표현하기 위한 기본적인 물리 법칙인 중력을 적용하여 공간 관계의 다양화 및 의미(semantics)를 부여하며 PSRG를 구성하는 알고리즘을 설명한다. 5절은 예제를 통해 SRG를 구성해보고 유용성을 검토한다. 마지막으로 6절에서는 결론 및 앞으로의 연구 방향에 대해서 논하고자 한다.

## 2. 관련연구

GIS 분야에서는 두 영역 개체 사이의 위상관계를 표현하기 위한 모델로서 Egenhofer에 의해서 제안된 4-intersection model과 이것을 확장한 9-intersection model이 있다. 4-intersection model은 객체를 boundary와 interior로 표현하며 9-intersection model은 객체 boundary, interior 그리고 exterior로 표현한다 [10,11]. 4-intersection model과 9-intersection model을 통해서 얻어지는 두 객체 사이의 위상관계는 Disjoint, Contain, Inside, Equal, Meet, Covers, Covered by 그리고 Overlap 등이다. 이러한 모델들은 대규모 공간 상의 지역들에만 적용가능하고 소규모 공간상의 같은 공간을 점유할 수 없는 물리 객체간의 관계를 표현하기에는 부적절하다[6]. 이에 GIS에서도 대규모 공간이 아닌 소규모 공간상에서도 적용 가능한 모델을 제시하

였다[5]. 이러한 model을 통해서 얻어지는 두 객체 사이의 관계는 Inside, Outside, Contain, Omit, on, Off support, Separated from, and Equal 등이다. 하지만 다루는 객체가 상자, 공, 탁자, 종이, 펜, 방으로서 그 수가 제한적이며 제공되는 공간관계 또한 다양하지 못하다.

가상현실 분야는 삼차원 그래픽스를 활용하여 사용자에게 현실감 있는 가상의 세계를 제공하는 기술로서 에이전트나 사용자가 공간관계에 대한 논리적인 추론을 수행할 수 있도록 하기 위해 많은 연구가 진행되고 있다. 여기서는 물리 객체간의 관계를 표현하기 위해 공간관계를 topological relations(disjoint, touch, contain, equal), orientation relations(before, rightof, above, after, leftof, below middleof) and directional relations(northof, eastof, up, southof, westof, down)으로 구분하여 제시하고 있다[12]. 하지만 물리 객체간의 위상 공간 관계를 표현하기 위해 GIS에서 사용되는 모델을 기초로 하여 필요한 관계만을 선택적으로 사용하는 형식으로 연구되고 있어 물리 객체에 적용할 수 있는 새로운 모델을 확립할 필요성이 있다.

동적인 환경에서 작업하는 모바일 로봇의 빠른 task planning을 수행하기 위해서는 환경에 대한 해당 분야에 관한 정보의 사용이 필수적이다. ODDM(Object-Oriented Data Model) 기반 planning에서는 이를 위해서 ODDM을 참조하여 object geometric hierarchy를 구성하기 위해 공간 관계를 NOUN class의 Object\_Relationship 필드(Inside, Contain, on top of)의 템플릿에 포인터 형태로 저장한다. 이 방법은 설계자에 의해 결정되는 것으로 로봇이 환경을 통해 직접 인지하는 것이 아니다[14]. 또한 이 방법도 극히 제한된 기하학적 관계만을 알 수 있을 뿐 다양한 물리적 관계를 설명할 수 없다.

본 모델은 가상환경 내에서 에이전트가 어떤 일을 논리적으로 수행하고 인간과 유사한 행동을 하기 위하여 물리 기반의 계층적 공간관계 모델을 제시하고자 하였다. 이를 위해 물리 객체의 정의, 물리 객체간의 공간 배치 확인, 물리 객체간의 접촉 유무로 접촉 그래프의 구성 및 공간 계층 구조 형성, 공간 계층 구조와 공간 배치를 참조하여 위상적인 요소와 물리적인 요소를 포함하는 계층적 위상 공간 관계 정립 등을 수행하였다 [15]. 그러나 이러한 공간 관계 모델은 객체를 근사화하기 위한 MBR를 사용하여 접촉 유무를 확인함으로써 MBR과 완전 동일한 형태의 객체의 경우에만 적용이 된다. 다시 말해서, 다양한 모양의 객체에는 적용될 수 없으며, Agent가 어떤 일을 논리적으로 수행하고 인간과 유사한 행동을 하기 위해서 좀 더 다양한 공간관계들로 확충될 필요가 있다.

### 3. 물리 객체의 정의 및 표현

물리 객체에 관한 위상 공간 관계를 규명하기 위해서는 위상공간이 정의되어야 하며 물리 객체가 위상학적으로 어떤 성질이 있는지 정의해야 한다. 그리고 인지과학에서 연구되고 있는 인지적인 관점에서의 공간 관계를 위상학적으로 규명하기 위해 새로운 정의를 도입하여 물리 객체를 분류한다. 또한 실제적인 모델링과 위상 공간 관계 규명을 용이하게 하기 위해서 CSG-tree를 도입하여 물리 객체들을 모델링 할 수 있는 방법을 제시한다.

#### 3.1 point-set topology 의 소개 및 물리 객체의 정의

물리적인 세계는 공간을 가지고 있다. 객체는 공간 내에 존재하며 다른 객체와의 상대적인 위치를 유지하고 있다. 그러한 객체를 자신이 공간을 제공하며 이러한 공간에 의해 객체들은 서로 공간관계를 형성한다. 이러한 객체와 공간관계를 수학적으로 검증된 표현을 하기 위해서는 point-set topology가 유용하다. 여기서는 point-set topology 개념을 소개하고 이 개념을 이용하여 물리객체를 정의한다. 아래에 위상의 개념을 증명 없이 소개한다[10,16,17].

**정의 3.1** 집합  $X$ 의 부분집합들의 집합(family)인  $\mathcal{J}$ 는 다음을 만족하며  $X$ 에 대한 위상(topology)이라고 한다.

- (1) 집합  $X$ 와 공집합  $\emptyset$ 은  $\mathcal{J}$ 에 속한다.
- (2)  $\mathcal{J}$ 의 원소들의 집합의 합집합은  $\mathcal{J}$ 의 원소이다.
- (3)  $\mathcal{J}$ 의 원소들의 유한 집합의 교집합은  $\mathcal{J}$ 의 원소이다.

그리고 순서쌍  $(X, \mathcal{J})$ 를 위상 공간(topological space)이라고 한다.

$\mathcal{J}$ 의 원소는 개집합(open set)이고  $X$ 에서 개집합의 여집합(complement)이 폐집합(closed set)이다. 폐집합들의 집단은 공집합  $\emptyset$ 과 집합  $X$ 를 포함하고, 모든 교집합과 유한 합집합에 닫혀있다.  $X$ 의 원소  $x$ 가 개집합  $U$ 에 속한다면  $U$ 는  $x$ 의 근방(neighborhood)이라고 한다.

**정의 3.2**  $A \subset X$ 인 경우,  $A$ 를 포함하는 모든 개집합들의 교집합을  $A$ 의 interior라고 하고  $A^\circ$ 라고 표시한다.

**정의 3.3** 집합  $A$ 를 포함하는 모든 폐집합들의 교집합을  $A$ 의 closure라고 하고  $\overline{A}$ 로 표시한다.

**정의 3.4**  $A$ 의 closure와  $A$ 의 여집합의 closure의 교집합을  $A$ 의 boundary라 하고  $\partial A$ 로 표시한다. 다시 말하면,  $\partial A = \overline{A} \cap \overline{X-A}$ 이다.

**정의 3.5** 위상 공간  $X$ 의 부분집합  $A$ 에 대하여  $X - \overline{A}$ 를  $A$ 의 외부(exterior)라 하고  $A^V$ 로 표시한다.

**정의 3.6**  $Y \subset X$ 인 경우, 아래의 세 조건을 만족하는  $X$ 의 부분집합  $A, B$ 가 존재하면  $Y$ 의 separation이 존재한다.

- (1)  $A \neq \emptyset$  and  $B \neq \emptyset$
- (2)  $A \cup B = Y$
- (3)  $\overline{A} \cap B = \emptyset$  and  $A \cap \overline{B} = \emptyset$

$Y$ 의 separation이 존재하면  $Y$ 는 disconnected이고 그렇지 않으면 connected되어 있다고 한다. 아래의 몇몇 정리들은 증명 없이 사용한다[5].

**정리 3.1**  $A^\circ \cap \partial A = \emptyset$

**정리 3.2**  $A^\circ \cup \partial A = \overline{A}$

**정리 3.3**  $A$ 와  $B$ 가  $Y$ 의 separation을 형성하고  $Z$ 가  $Y$ 의 connected subset이면,  $Z \subset A$  또는  $Z \subset B$ .

**정리 3.4**  $Y \subset X$ 의 경우,  $Y^\circ \neq \emptyset$ 이고  $\overline{Y} \neq X$ 이면,  $Y^\circ$ 와  $X - \overline{Y}$ 가  $X - \partial Y$ 의 separation을 형성한다.

물리 객체들의 위상 공간 관계를 규명하기 위해서 물리 객체가 놓일 수 있는 전체 공간  $X$ 는 연결된 점 집합 위상 공간으로 가정한다.

물리객체는 가상공간에서 공간을 점유하며 거주한다 [1,2,18]. 이러한 객체들은 서로 같은 공간을 점유하지 못한다는 특징을 가지고 있다. 물리객체의 위상학적인 정의는 다음과 같다.

**정의 3.7** 연결된 위상공간  $X$ 의 부분집합  $A$ 가 다음을 만족하면  $A$ 를 물리객체(Physical Object)라 한다.

- (1)  $A^\circ$ 가 connected이고  $A = \overline{A^\circ}$ 을 만족하는 공집합이 아닌  $X$ 의 진부분집합(proper subset)  $A$  이어야 한다.
- (2) (1)의 조건을 만족하는  $B$ 가 있다고 가정할 때,  $A^\circ \cap B^\circ = \emptyset$ 이 되어야 한다.

**정리 3.5**  $A$ 가  $X$ 상의 Physical Object이라면  $\partial A \neq \emptyset$ 이다. (증명은 [19] 참조)

**정리 3.6**  $A, B$ 가 physical object라면  $A^\circ \cap \partial B = \emptyset$ 이고  $\partial B \cap B^\circ = \emptyset$ 이다. (증명은 [20] 참조)

**정리 3.7**  $A, B$ 가  $X$  상의 Physical Object이라면  $A^\circ \subset X - \overline{B}$ 이고  $B^\circ \subset X - \overline{A}$ 이다[20].

#### 3.2 객체의 분류

물리적 객체는 내부 혹은 외부에 다른 객체가 거주할 수 있는 공간을 제공한다. 여기서 내부와 외부는 위상학적인 관점에서 보았을 때 다른 공간이 될 수 있다. 가상 환경 내에 객체  $A$ 가 존재하고 객체  $A$ 의 내부, 외부 공간에 다른 객체가 거주할 수 있다고 가정하자. 내부 공간에 객체  $B$ 가 거주하고 외부 공간에 객체  $C$ 가 거주하고 있다면  $A$ 와  $B, A$ 와  $C$ 는 엄연히 다른 위상공간 관계를 가지게 된다. 이러한 관점에서 물리적 객체는 내부 공간의 제공 유무에 따라 Solid Object와 Hollow Object로 나누어질 수 있다[4]. 이 객체들은 인지적인 관점에서 내부 공간도 제공할 수 있다. 예를 들어 Container 성질은 유아기부터 학습하게 되는 이미지 스키마

로서 위상학적인 관점에서는 내부 공간을 제공하지 않지만 인지적인 관점에서는 내부 공간을 제공하는 객체의 성질이 된다. 즉 위상학적인 개념을 이용하여 외부공간과 내부공간을 구분할 수 없다. 그러므로 기하학 개념을 도입하여 Container 성질 및 내부공간을 정의하고자 한다.

Solid Object는 외부공간만을 제공하고 내부공간을 제공하지 않는 속이 꽉 찬 객체이다. 예를 들어 책, 연필, 식탁, 의자 등을 Solid Object라 한다. Solid Object의 정의는 다음과 같다. Solid object인 경우 정의 3.2와 정의 3.4에서 정의한 interior와 boundary를 topological primitive들로 가진다.

**정의 3.8**  $A$ 가 물리적 객체이고  $A \subset X$ 이라고 하자.  $A$ 의 exterior 즉  $X - \overline{A}$ 가 connected이면  $A$ 는 solid object이다. 그 역도 성립한다.

Hollow Object는 외부공간과 내부공간을 모두 제공하는 속이 빈 객체, 예를 들어 상자, 방 등을 말한다. Hollow Object의 정의는 다음과 같다.

**정의 3.9**  $A \subset X$ 인 경우,  $A$ 가 물리적 객체이고  $A$ 의 외부(exterior), 즉  $X - \overline{A}$ 가 disconnected라면  $X - \overline{A}$ 는 Hollow Object이다.

**정리 3.8**  $A$ 가 hollow object이면 그 boundary는 disconnected되어 있다. (증명은 [20] 참조)

Hollow Object는 물리 객체의 성질을 만족한다. 그러므로 boundary와 interior와 같은 topological primitive들을 가진다. 하지만 정의 3.16과 정리 3.17에 의해서 일반적인 topological primitive들을 세부적으로 나눌 수 있다.

$X - \overline{A}$ 이 disconnected되어있고, 두 개의 separations만 존재한다면, 두 개의 부분집합 쌍을 다음과 같이 Closed Inner Space와 Outer Space로 정의할 수 있고 정리 3.17에 의해서 boundary 또한 disconnected 되어 있으므로 Inner Boundary and Outer Boundary로 정의할 수 있다.

**정의 3.10** hollow object  $A$ 는 아래의 topological primitive들을 가진다.

(1) Closed Inner Space( $^{cis}$ )

$A$ 의 exterior,  $X - \overline{A}$ , 에 속하는 점 집합 중  $\partial X$ 에 속하는 점 집합과 임의의connected line 을 그은 경우  $A^o$ 의 부분을 항상 포함하는 점 집합들의 개집합.

(2) Outer Space( $^{os}$ )

$$X - \overline{A} - \overline{A}^{cis}$$

(3) Inner Boundary( $\partial^i$ )

$$\overline{A} \cap \overline{A}^{cis}$$

(4) Outer Boundary( $\partial^o$ )

$$(X - \overline{A}^{cis}) \cap \overline{X - A} \cap \overline{A}$$

그림 1은 Hollow Object의 예를 보여준다.  $A$ 가 Hollow Object이고 서랍이나 짐치럼  $n$  개의 Closed Inner Spaces가 존재하면, 그들은 각각  $A^{cis_1}$ ,  $A^{cis_2}$ , ...,  $A^{cis_n}$ 로 표시된다.



(a) object in virtual environment (b) object topological space environment

Figure 1 Hollow Object의 정의

**정리 3.9**  $A, B$ 가  $X$ 상의 물리적 객체이고  $A$ 가 hollow object일 때,  $B^o \subset A^{cis}$  또는  $B^o \subset A^{os}$ . 유사하게,  $B$ 가 hollow object이면,  $A^o \subset B^{cis}$  또는  $A^o \subset B^{os}$ . (증명은 [20] 참조)

물리적 객체의 boundary가 서로 접한 경우 접한 유형에 따라 관계하는 사건(Event)나 행동(Action)이 달라 질 수 있다. 그러므로 접한 유형에 따라 공간관계를 세분화(specialization)할 수 있는 방법이 필요하다. 하지만 boundary가 접한 relation을 세분화하기 위해서는 객체가 어떤 성질을 가지는지를 체크할 수 있는 방법이 필요하다. 이를 위해 Container라는 개념을 도입한다.

Container는 다른 객체를 내부에 둘 수 있는 공간을 가지는 객체라 말할 수 있다[5,6]. 인지적인 관점에서 Container는 내부공간을 제공한다고 볼 수 있지만[4] 위상학적 관점에서는 내부 공간을 제공하지 않는다. 예를 들어 컵, 책장, 병 등을 Container라 할 수 있다. 또한 객체  $A$ 가 객체  $B$ 에 의해 Container로 변형된 경우, 객체  $A$ 는 Container 성질을 가진다고 말할 수 있다. 예를 들어 못에 의해 벽이 변형된 경우 벽의 들어간 부분은 Container 성질을 가진다고 말할 수 있다. Solid Object와 Hollow Object들 모두 Container 성질을 가질 수 있으며 그 수 또한 제한이 없다. 그리고 Hollow Object들 즉 문이 있는 방, 덮개가 있는 병들은 그 상황에 따라서 Hollow Object가 되거나 Container 성질을 가질 수 있다. 예를 들어 문이 있는 방은 문이 열린 경우 Container 성질을 가지고 문이 닫힌 경우 Hollow Object가 된다. 이러한 Container 성질을 정의하기에 앞서 내부공간에 대한 정의가 필요하다. 이러한 내부공간은 외부공간과 연결된 공간이지만 인지적인 관점에서 내부공간을 다른 공간으로 간주해야 한다. Container 성

질, 내부공간, 내부공간을 둘러싸는 boundary를 다음과 같이 정의한다.

**정의 3.11**  $\{ \text{physical object} \mid \exists \text{plane}(n((\text{plane} \cup \text{physical object})^{\text{ois}}) = n(\text{physical object}^{\text{ois}}) + 1) \}$ 인 경우, Physical Object는 Container 성질을 가진다. 단 Hollow Object의 Closed Inner Space에서 Container 성질을 확인하기 위해서는 Closed Inner Space를 구성하는 geometry가 concave 이어야 한다.

**정의 3.12**  $\text{plane} \cup \text{physical object}$ 에 의해 새로 생긴 내부 공간을 hollow object에서 정의한 내부공간과 구분하기 위해 Open Inner Space<sup>(ois)</sup>라 정의한다. n 개의 Open Inner Spaces는 각각  $A^{\text{ois}_1}, A^{\text{ois}_2}, \dots, A^{\text{ois}_n}$ 로 표시된다.

**정의 3.13** A가 Container property를 가지면 virtual inner boundary,  $\partial^{\text{vi}}A = \overline{A^{\text{ois}} \cap X - A^{\text{ois}}}$ .

물리적 객체들은 spatial position라는 속성 외에 function이라는 속성을 가질 수 있다. Composite Object는 여러 객체가 서로 물리적으로 연결되어 있고 각각의 객체가 가지고 있는 function들이 합쳐져 각각의 객체가 가지고 있는 function들과는 다른 새로운 function을 가지게 될 경우 형성된다. Composite Object의 정의는 다음과 같다.

**정의 3.14** 물리적 객체의 조합이 다음을 조건을 만족할 경우 Composite Object라 하며  $O = \langle O_i, \dots, O_{i+n} \rangle$  단  $O_{i+n}$ 은  $(i+n)$ 번 째 component,로 표현한다.

- (1)  $O_i, \dots, O_{i+n}$ 이 서로 공간적으로 접해 있어야 한다.
- (2) O의 function, F는 component들의 function들의 단순 합이 아니라 Component들의 function들의 결합으로 새로운 function을 형성한다. 즉,  $F \neq f_i + \dots + f_{i+n}$ , 단  $f_{i+n}$ 는  $O_{i+n}$ 의 function.

예를 들어, 열고 닫는 function을 가진 문과 외부를 막는 function을 가진 벽이 서로 정의된 공간관계를 형성하게 되고 거주라는 새로운 function을 만들게 된다면 문과 벽의 조합은 방이라는 Composite Object를 형성하도록 만든다.

**3.3 Modified CSG tree에 기초한 모델링**

CSG방식은 물체를 구, 원뿔, 직육면체, 각주, 원통 등의 소위 고체 도형요소의 집합체로 표현하는 방식이다. 이러한 도형요소들을 삼차원 공간상에 놓고, 논리연산(Boolean Operation)으로 결합하여 표현하고자 하는 물체를 구성한다[19]. 이 논문에서의 객체 모델링의 중점이 시각적으로 정교하게 묘사하기 위한 것이 아니므로 객체를 단순한 primitive의 조합으로 추상화할 수 있다. 여기서는 CSG-tree의 primitive와 operation을 단순화하여 앞에서 정의한 객체들을 모델링하고자 한다.

**가정 3.1** Object 모델링 시 제공되는 primitive를 다음과 같이 제한한다.

Primitives = {cube, cylinder, sphere, cone, tetrahedron, pyramid}

**가정 3.2** 모델링 시 사용 가능한 operation을 다음과 같이 제한한다.

田 : 임의의 primitive A, B가 있다고 가정하고 어떤 객체를 모델링 시  $A \cup U$  한다. 이 때 다음 조건을 만족해야 한다.

- 1)  $\min(A \cup U)$
- 2) operation 수행 후 interior 들은 connected 되어야 한다.

日 : 임의의 primitive A, B가 있다고 가정하고 Hollow Object와 Container 모델링 시  $A - B$  한다. 이 때 다음 조건을 만족해야 한다.

- 1)  $B \subset A$
- 2) B는 closed inner space 또는 open inner space가 되어야 한다.

이 연산은 hollow object 나 container를 모델링할 때 사용된다.

○ : 임의의 물리적 객체 A, B가 있다고 가정하고 어떤 Composite Object를 모델링 시  $A \cup B$ 를 한다. 이때 다음과 같은 조건을 만족해야 한다.

- 1)  $A^\circ \cap B^\circ = \emptyset$
- 2)  $\partial A \cap \partial B \neq \emptyset$

이 연산은 composite object를 모델링할 때 사용된다.

Open inner space가 없는 solid object 모델링 시 CSG-tree에 사용되는 operation은 田로서 田의 나열로 Solid Object를 만들 수 있다. 이 때 사용하는 primitive들을 최소화하여야 한다. 객체의 속성인 Shape의 변형 없이는 Container가 되지 않고 Open Inner Space가 없는 Hollow Object를 모델링하기 위해서는 다음과 같은 가정이 필요하다.

**가정 3.3** Shape의 변형 없이는 Container가 되지 않고 open inner space가 없는 Hollow Object 모델링 시 다음을 만족해야 한다.

- (1) A田B 경우,  $\partial A \cap \partial B \neq \emptyset$  이어야 한다.
- (2) A田B田C 경우,  $\partial A \cap \partial B \neq \emptyset$  이고  $B \cap C$ 이convex이면, A田(B田C)로 모델링 되어야 한다. 그렇지 않으면, A田B田C를 그대로 사용함을 원칙으로 한다.

Hollow Object에서 cube1은 interior를 포함하는 primitive이고 cube2, cube3, cube4는 Closed Inner Space를 나타내는 primitive이라고 하자. 이때  $\partial \text{cube3} \cap \partial \text{cube4} \neq \emptyset$  이고  $\text{cube3} \cup \text{cube4}$ 이 convex이면, cube1日cube2日(cube3田cube4)와 같은 operation 조합이 이루어진다. Container 모델링을 위해 primitive와 opera-

tion을 조합할 때 다음과 같은 가정이 필요하다.

가정 3.4 Container 모델링 시 다음을 만족해야 한다.

- (1)  $\partial(A \cap B) - \partial(A - B)$ 이 connected되어 있어야 한다.
- (2)  $A \cap B \cap C$ 를 하는 경우 B나 C 중 하나는 (1)의 조건을 만족해야 하며  $\partial B \cap \partial C \neq \emptyset$  이고  $B \cup C$ 이 concave 이면,  $A \cap (B \cap C)$ 가 되어야 한다.
- (3) 객체의 한 부분의 단순한 이동에 따라 hollow object 나 container 가 될 수 있는 경우,  $(A_1 \cap A_2 \cap \dots \cap A_n) \cap (B_1 \cap B_2 \cap \dots \cap B_m) \cap (C_1 \cap C_2 \cap \dots \cap C_k)$ 와 같은 operation 조합을 이용하여 모델링 한다.  $(C_1 \cap C_2 \cap \dots \cap C_k)$ 와 같은 primitive 조합은 상황에 따라 객체를 Hollow Object가 되게 하거나 Container가 될 수 있게 하는 역할을 한다.

Container 성질을 가지는 유리컵에 상응하는 operation 조합은 cylinder1  $\cap$  cylinder2가 된다. 상황에 따라 Hollow Object가 되거나 Container가 되는 상자에서, Cube1은 상자의 몸체를 나타내는 primitive이고 cube2는 내부공간을 그리고 cube3와 cube4는 함께 덮개를 나타내는 primitive들이라면 상자 전체는 cube1  $\cap$  cube2  $\cap$  (cube3  $\cap$  cube4)로 표현된다.

Composite object의 모델링 시 component Object들을 (Object1)  $\cap$  (Object2)  $\cap$  ...  $\cap$  (Objecti)와 같은 조합으로 구성될 것이다. 그림 2는 Composite Object인 방을 표현하는 CSG-tree이다. 일단 벽과 문을 cube1  $\cap$  (cube2  $\cap$  cube3)과 cube4  $\cap$  cylinder1와 같이 모델링한 후 그들을 구성 객체로 포함한 복합 객체인 방은 (cube1  $\cap$  (cube2  $\cap$  cube3))  $\cap$  (cube4  $\cap$  cylinder1)로 모델링 된다.

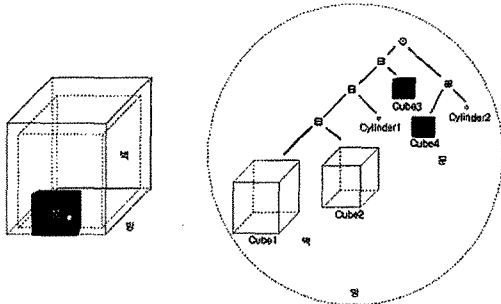


Figure 2 Composite Object (방) 모델링

#### 4. 물리 기반 공간 관계

변형된 CSG-tree를 이용하여 모델링된 객체들의 물리 기반 공간관계를 추출하기 위해서 먼저 객체를 이루는 primitive 조합들 간의 위상 공간관계를 추출한다. Egenhofer가 제안한 4-intersection model을 기반으로 물리적 객체에 관련된 제약조건을 적용하여 위상 공간

관계를 추출할 수 있다. r14는 일어나지 않으므로 r14는 4-intersection model 적용 시 배제한다[20]. 또한 이러한 과정을 거쳐 얻어진 위상 공간 관계에 일반적인 물리 법칙인 중력을 적용하여 다양한 공간관계를 추출하고 semantics를 부여한다. 물리 기반 공간관계를 추출하기 위해서 다음과 같은 가정과 정의가 필요하다.

가정 4.1 S를 가상환경에 속한 모든 객체들의 절대적인 좌표 정보라 하였을 때  $St-1=St$ 가 될 때 이러한 관계를 적용해야 된다. 즉, 모든 객체들의 공간 관계를 검사 시 그 이전에 모든 객체들이 정지 상태에 있어야 함을 원칙으로 한다.

정의 4.1 Primary Object는 어떠한 공간을 점유하는 객체이고 Reference Object는 공간을 제공하는 Object이다. 이때 객체 A, B가 있다고 가정할 때 서로 공간을 제공한다면 이때  $RO : A, PO : B$ 와  $RO : B, PO : A$  모두의 공간관계를 검사해야 한다.

#### 4.1 Topological Spatial Relation

물리적 객체들은 변형된 CSG-tree로 구성된다. 그렇다면 가장 일반적인 객체를 operation 조합으로 표현한다면,  $(A1 \cap A2 \cap \dots \cap Ai) \cap (B1 \cap B2 \cap \dots \cap Bj) \cap (C1 \cap C2 \cap \dots \cap Ck) \dots$ 가 될 수 있다. 즉 객체의 interior를 포함하는 primitive들의 조합 집합과 connected된 내부 공간을 표현하는 primitive 조합 집합들로 나눌 수가 있다. 이러한 조합 집합들을 이용하여 위상 공간 관계를 추출해본다[19].

객체의 interior를 포함하는 primitive 조합들 간에 가능한 위상 공간 관계에 관련된 constraint를 적용한다면,  $r_0, r_1, r_6, r_7, r_{10}, r_{11}, r_{15}$ 를 얻을 수 있다. 그러나 객체의 interior의 부분을 포함하는 primitive 조합들 간의 공간관계 중  $r_3$ 는 일어나지 않는다. Hollow Object가 제공하는 Closed Inner Space를 표현하는 primitive 조합과 interior를 포함하는 primitive 조합 사이의 위상 공간 관계에 관련된 constraint를 적용한다면,  $r_0, r_3, r_6, r_7, r_{10}, r_{11}$ 를 얻을 수 있다. closed Inner Space를 표현하는 primitive 조합과 interior를 포함하는 primitive 조합 사이의 공간관계 중  $r_1, r_{15}$ 는 일어나지 않는다. Container Object가 제공하는 Open Inner Space를 표현하는 primitive 조합과 interior를 포함하는 primitive 조합 사이의 위상 공간 관계는  $r_0, r_1, r_3, r_6, r_7, r_{10}, r_{11}, r_{15}$ 를 모두가 가능하다.

앞 절에서 객체의 Interior를 포함하는 primitive의 조합, Closed Inner Space를 표현하는 primitive의 조합, Open Inner Space를 표현하는 primitive의 조합 들 사이에서 일어날 수 있는 관계를 각각 살펴보았다. 이를 통합하기 위해서 정의 4.2의 Reference Object, Primary Object를 도입하여 intersection시 앞의 항목을 Reference

Table 1 Reference Object and Primary Object(TSR) 사이에 가능한 모든 위상 공간관계

	Interior	Closed	Open	
R <sub>0</sub>	r <sub>0</sub>	∅ or r <sub>0</sub>	∅ or r <sub>0</sub>	
R <sub>1</sub>	r <sub>1</sub>	∅ or r <sub>0</sub>	∅ or r <sub>0</sub>	
R <sub>2</sub>			r <sub>1</sub>	
R <sub>3</sub>	r <sub>10</sub>	r <sub>3</sub>	∅	
R <sub>4</sub>		r <sub>10</sub>		
R <sub>5</sub>		r <sub>11</sub>		
R <sub>6</sub>		∅		R <sub>10</sub>
R <sub>7</sub>				r <sub>11</sub>
R <sub>8</sub>	r <sub>11</sub>	∅	r <sub>3</sub>	
R <sub>9</sub>			r <sub>11</sub>	
R <sub>10</sub>			r <sub>7</sub>	
R <sub>11</sub>	r <sub>15</sub>	∅	r <sub>15</sub>	

Object로 하고 뒤의 항목을 Primary Object로 둔다면 표 1과 같은 결과를 얻을 수 있다. 총 12개의 위상 공간 관계는 이 논문에서 정의한 물리적 객체 사이에서 일어날 수 있는 모든 위상 공간 관계를 포괄한다[20].

4.2 물리 기반 공간 관계

가상환경의 모든 객체들에는 물리 법칙인 중력이 작용한다. 공간관계 또한 이러한 물리 법칙인 중력에 따라 다른 공간관계로 분류될 수 있다. 그러므로 실세계 문제에 적용 가능한 공간 관계의 framework를 위해서 물리 법칙인 중력이 작용하는 공간으로 정의하고자 한다. 여기서는 물리엔진과 같이 세부적인 중력을 표현하고자 하는 것이 아니라 단지 물리 기반의 공간관계를 표현하는 것이므로 방향 벡터만을 고려하여 중력을 근사한다. 중력 방향 벡터를 고려한다면 다음과 같이 객체의 boundary에 속하는 점 집합을 세 개의 집합, 즉 upper, side 그리고 lower boundary point-set으로 나눌 수 있다.

객체의 boundary를 세 개의 점 집합으로 구분하였다면 객체들이 서로 contact할 시 boundary의 분류에 따라 접촉하는 boundary의 종류가 달라진다. 접촉된 boundary 정보를 저장하기 위해서 Contact Surface(CS)를 정의한다. Contact Surface에 저장되는 값은 Reference Object의 접촉된 boundary에 관한 정보로서 {upper boundary, side boundary, lower boundary} 집합의 8개의 부분집합 (각각 ∅, UB, SB, LB, USB, ULB, SLB, and USLB 로 표기) 중 하나가 된다.

물리적 객체간의 물리 기반 공간관계(PSR)를 추출하기 위해 위상 공간 관계와 Contact Surface를 통합하여 물리 기반 공간관계 framework를 구성하게 된다. 결과적으로 물리 기반 공간관계 framework은 총 55개의 공간관계들로 표현된다. 자세한 내용은 참고문헌에 상술되어 있다[19]. 한편 이러한 물리 기반 공간 관계 framework에, 예를 들어 D는 'x & y are disjoint.'와 같은

55개의 각자의 의미(semantics)를 가진다[20].

4.3 물리 기반 공간 관계 그래프(PSRG)의 구성

물리 기반 공간 관계 그래프(PSRG)는 space configuration에서 모든 물리적 객체들을 node로 하고 각 물리적 객체간의 Contact Surface의 유무에 의해서 edge의 유무가 결정된다. 그리고 edge의 label에 들어가는 내용은 PSR(x, y)의 값이 된다. 구체적 알고리즘(constructSpatialRelationGraph)은 [19]에 상술되어 있다.

5. 예제와 적용

가상 환경 내에서 space configuration을 Container 성질을 가진 물리적 객체들의 물리 기반 공간 관계 모델을 이용하여 PSRG를 구성해본다. 그림 3은 이러한 예로 Composition Object인 방(A)=<문(B), 벽(C)>, 장롱(D)=<장롱벽(E), 장롱문(F)>과 탁자(G), 침대(H), 액자(I), 유리컵(J), 백열등(K),백열등소켓(L), 못(M), 베개(N), 백열등(O) 등의 추상화된 물리 객체들이 등장한다. 그림 3의 그림에서는 보이지 않지만 백열등(O)은 장롱(D) 안에 놓여 있다.

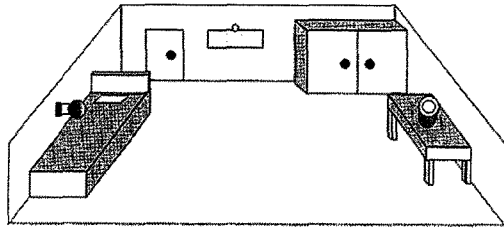


Figure 3 Replace Event에 관한 Space Configuration

먼저 그림 3의 space configuration에 등장하는 객체가 어떻게 모델링 되어있는지 살펴본다. 그림 4는 두 객체들에 상응하는 enhanced CSG-tree의 모습들이다. 다른 객체들은 [20]에 기술되어 있다.

그림 4처럼 객체들이 primitive의 조합들로 구성되어 있다면 물리 기반 공간 관계 그래프를 추출할 수 있다. constructSpatialRelationGraph 알고리즘을 수행하면 그림 5의 (f)와 같은 결과를 얻게 된다. (a)~(e)은 단계별 수행 결과를 나타낸 것이다.

예를 들어 Replace Event의 그림 3 상황에서 에이전트의 목표(goal)가 '백열등을 간다'라고 하자. 일반적으로 에이전트는 주어진 목표를 부분목표(subgoal)들로 나누어 수행하게 된다. 다음의 행동들은 그림 5(f)의 PSRG 및 그림 4의 객체의 Enhanced CSG-tree를 참조하여 일련의 부분목표들, 즉 문을 연다.(Open-door) → 방안으로 들어간다.(Enter) → ... → 백열등을 빼낸다.(Remove-bulb) → ... 등으로 나눈 것이다.



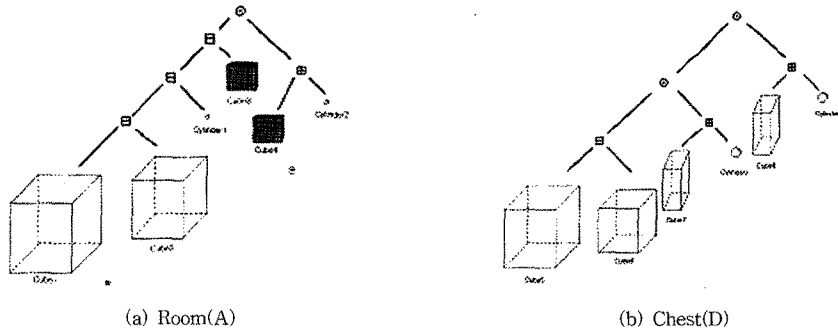


Figure 4 예제 Object들에 대한 Enhanced CSG-tree

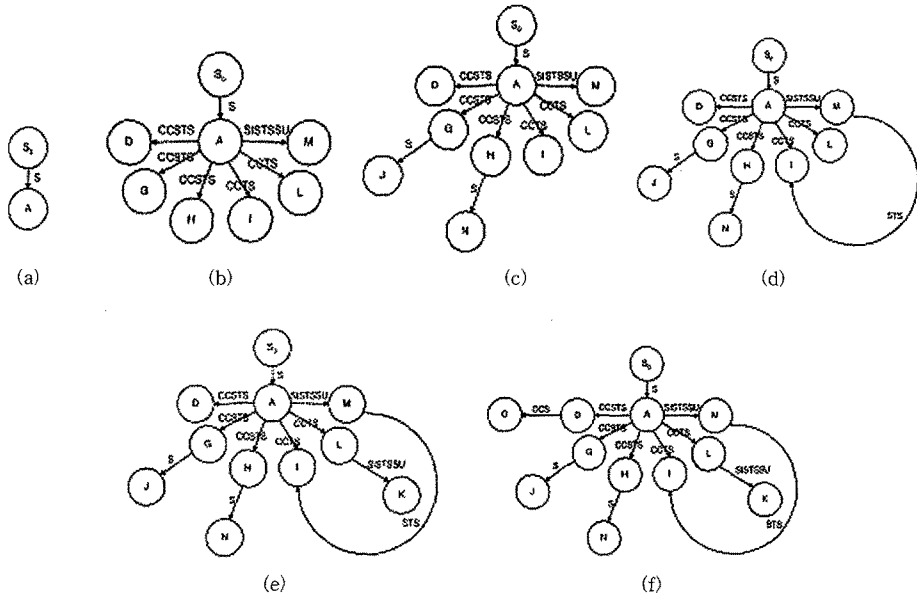


Figure 5 PSRG Algorithm 실행 단계별 중간 결과

위에서 나열된 부분목표 중에 '문을 연다(Open)'와 '백열등을 빼낸다(Pull\_out)'라는 행동들이 앞에서 제시한 객체의 Enhanced CSG-tree와 PSRG를 어떻게 참조하는지 알아보자. '문을 연다'라는 행동은 다수의 precondition, procedure, effect가 존재하지만 여기서는 행동들이 Enhanced CSG-tree와 PSRG를 어떻게 참조하는지를 알아보기 위해서 한두 조건만 고려한다. precondition에서 '방(A)이 Hollow Object'와 '방(A)이 Composite Object'는 Enhanced CSG-tree를 참조하여 알 수 있는 정보이다. '방(A)이 Hollow Object'라는 것은 지금 현재 Closed Inner Space를 제공한다는 것이다. 즉, 내부공간과 외부공간이 disconnected되어 있다는 것이다. 그리고 '방(A)이 Composite Object'라 되어 있다면

Enhanced CSG-tree를 참조하여 보면 방(A)을 이루는 Component가 벽(B)과 문(C)이라는 것을 알 수 있고 앞에서 설명한 것을 모두 조합하면 문(C)이 닫혀 있다는 것을 알 수 있다. 그리고 '문을 이동한다'라는 procedure를 수행하게 되면 '방(A)이 Container'이라는 effect를 얻을 수 있게 된다.

'백열등을 빼낸다'라는 행동의 precondition에서 PSR (백열등 소켓(L), 백열등(K))=S1S2SSU는 PSRG를 참조하면 알 수 있는 정보이다. 그리고 '백열등 소켓에서 백열등을 분리한다'라는 procedure를 수행하게 되면 PSR(백열등 소켓(L), 백열등(K))=D가 되며 이러한 정보가 PSRG에 Update된다. 이와 같이 기존의 위상공간 관계만으로 해결하지 못했던 상황에 Hollow Object,

Container, Composite Object에 적용될 수 있는 물리 기반 공간관계 모델을 도입함으로써 에이전트는 인간의 사고방식과 좀 더 유사한 planning을 수행할 수 있게 될 것이다.

## 6. 결론 및 향후 연구 방향

본 논문은 새로운 공간관계 표현 모델을 개발하였다. 먼저 가상환경에 필요한 개념인 물리적 객체, Solid Object, Hollow Object, Container, and Composite Object를 명확히 정의하였다. 또한 CSG-tree의 primitive와 operation을 재정의 하여 여기서 정의한 객체들을 표현할 수 있는 모델링 기법을 고안하였다. 이렇게 모델링되어진 물리적 객체들의 공간관계를 추출하기 위해서 interior를 포함하는 primitive 조합, Closed Inner Space를 나타내는 primitive 조합, Open Inner Space를 나타내는 primitive 조합들로 나누어서 각각의 조합에 4-intersection model을 적용하여 위상공간 관계를 추출하고 이것을 통합하여 물리적 객체간에 일어날 수 있는 위상공간 관계를 구축하였다. 이는 객체간의 공간 관계를 구축하는 토대가 된다. 공간관계는 추론을 위한 지식(knowledge)으로서 다양하고 실세계와 유사한 공간 관계를 제공하지 않는다면 논리적으로 적합한 사건이나 행동이 일어날 수 없다. 실세계와 유사한 공간관계를 표현하기 위해서 중력과 같은 물리법칙을 적용하고 위상공간 관계로 얻어진 결과들을 세분화하였다.

본 논문에서 제시되어진 이러한 개념을 실제 가상환경에 적용하여 물리 기반 Spatial Relation Graph (PSRG)를 구성하여 실제적인 활용 가능성을 보여주었다. 우리의 시스템의 궁극적 목적은 두 물리 객체간의 위상적, 물리적, 방향, 거리 공간관계를 통합하여 실세계와 유사하게 작동할 수 있는 가상환경을 만드는 것이다. 하지만 이러한 통합 모델이 정적인 상황에서의 공간 관계 추론은 가능하지만 동적인 상황에서는 적용하기가 어렵다. 그러므로 시간과 같은 개념을 도입해서 Spatial-Temporal Graph[2-4]를 구성하여 과거와 현재에 어떠한 공간관계를 이루고 있었는지를 파악할 수 있는 연구가 필요하다.

## 참고 문헌

- [1] Doyle, P. and Hayes-Roth, B., Agents in annotated world, Proc. Of 2<sup>nd</sup> Conference on Autonomous agents, Minneapolis, MN., 1998.
- [2] Park, J., A cognitive modeling of the spatial aspects of a cyber world, technical report, AIMM lab, Kyungpook National University, 1996.
- [3] Park, J., Semantics of concepts relevant to the cyber-microcosm, technical report, AIMM lab, Kyungpook National University, 2004.
- [4] Herskovits, A., Language and spatial cognition - An interdisciplinary Study of the Prepositions in English, Cambridge University Press, 1986.
- [5] Max J. Egenhofer and M.Andrea Rodriguez,, Relation Algebras over Containers and Surfaces, An Ontological Study of a Room Space, *Journal of Spatial Cognition and Computation*, vol.1, no.2, pp.155-180, 1999.
- [6] A. Rodriguez and M. Egenhofer, A comparison of Inferences about Containers and Surfaces in Small-Scale and Large-Scale Spaces, *Journal of Visual Languages and Computing*, 11(6), pp.639-662, 2000.
- [7] Jin-Young Cho, Sung-Hye Choe, Message-Based Model for Diverse Events by Structured Objects in Virtual Natural Environment, *Proceedings of the international conference on artificial intelligence*, vol.2, pp.722-727, 2002.
- [8] Amitabha Mukerjee, Daniel Hernández, Tutorial on Representation of Spatial Knowledge, *Fourteenth International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI-95)*, 1995.
- [9] A. G. Cohn, B. Bennett, J. Gooday, and Nicholas Mark Gotts, Qualitative spatial representation and reasoning with the region connection calculus, *GeoInformatica*, 1:275-316, 1997.
- [10] Max J. Egenhofer, Robert D. Franzosza, Point-set Topological Spatial Relations, *The International Journal for Geographic Information Systems*, 5(2): pp.161-174. 1991.
- [11] Egenhofer, M. and Franzosa, R., "One the Equivalence of Topological Relation," *International Journal of Geographic Information Systems*, vol.9, no.2, pp.133-152, 1992.
- [12] De Troyer, Specifying spatial and part-whole relations for virtual reality: a language perspective, vrije University dissertation, 2003.
- [13] Cohn, A. G., and Gotts N. M., "The 'Egg-Yolk' Representation of Regions with Indeterminate Boundaries, Geographic Objects with Indeterminate Boundaries," Eds., Peter A. Burrough, and Andrew U. Frank. Bristol, PA: Taylor & Francis Inc., pp.171-188, 1996.
- [14] Stanley Y. P. Chien, Lucy Q. Xue, and Mathew Palakal, "Task Planning for a Mobile Robot in an Indoor Environment Using Object-Oriented Domain Information," *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics - Part B: Cybernetics*, vol.27, no.6, pp.1007-1016, 1997.
- [15] S. H. Choe, J. H. Park, S. S. Pyo, Hierarchical spatial relation based on a contiguity graph, *International Journal of Intelligent Systems*, vol.20, no.9, pp.867-892, 2005.
- [16] Fred H. Croom.: Principles Of Topology Kyung Moon Publishers, pp.55-108, 1996.
- [17] Sung-Hye Choe, Topological Adjacency Relation

- depending on the Scope of an Agent among Physical Object, *Proceedings of the international conference on artificial intelligence*, vol.1, pp.328-333, 2002.
- [18] Borgo, S., Guarino, N., and Masolo, C., Towards an Ontological Theory of Physical Objects, Proceedings of IMACS-IEEE/SMC Conference CESA96, 1996.
- [19] A. A. G. Reqiocja. "Representations for Rigid Solids: Theory, Methods, and Systems," *ACM Computing Surveys*, vol.12, no.4, Dec. 1980, pp. 437-464.
- [20] Y. J. Lim.: Container 성질을 가진 Physical Object 들간의 물리기반 공간관계의 표현 및 활용, 경북대학교 석사학위논문, 2005.



박 중 회

1979년 서울대학교(공학사). 1981년 한국 과학원(공학석사). 1990년 Univ. of Florida (공학박사). 현재 경북대학교 전자공학과 교수. 관심분야는 멀티미디어 응용, Computer Aided Education, CAD/CAM, 지능형 정보시스템, 분산 데이터 처리 시스템



임 영 재

2004년 2월 경북대학교 전자공학과(공학사). 2006년 2월 경북대학교 전자공학과 정보통신전공(공학석사). 2006년 2월~현재 삼성전자 근무. 관심분야는 가상현실, 인공지능