

동적 물질세계를 위해 전역적 참조 프레임을 사용한 정성적 공간 표현 및 추론법 QSR-14*

박 규 동

변 영 태†

국방과학연구소 JTDLS체계단
홍익대학교 대학원 박사과정

홍익대학교 컴퓨터공학과

사람이 공간에 대한 표현이나 추론을 기술할 때, 정량적 정보 표현과 관련 추론이 어렵거나 불가능 할 때 정성적 표현과 추론을 사용할 수 있다. 2차원 공간에 대한 많이 알려진 정성적 방법 중에 RCC(Region Connection Calculus)-8이 있다. 지역(region)을 공간에 대한 온톨로지 기본 개체로 하는 RCC-8은 위상학적 의미에서 두 개의 지역에 관해 connection 기반의 논리식 및 개념적 이웃과 변환을 나타낸 것으로 각 지역의 이동이나 크기 변화를 전제로 하고 있다. 그러나 현실 세계의 공간 표현과 추론에는 몇 가지 측면들이 더 고려되어야 한다. 본 논문에서는 중력장내에서 일어나는 물리적 화학적 작용에 의해 변화하는 동적인 물질세계의 정성적 공간 표현을 위해 RCC-8의 수정 확장된 방법을 제안한다. 2D의 정성적 공간 표현 및 추론에서 전역적 참조 프레임(global reference frame)의 필요성을 기술하고, 전역적 참조 프레임을 사용하여 동적 물질세계의 물리적 화학적 변화를 표현하고 추론하기 위한 QSR-14를 기술한다. QSR-14는 RCC-8에서 불가능한 상황을 표현할 수 있어 실제 세계의 정성적 공간 표현 및 변화에 더 적합하다고 판단된다. 몇 개의 예제를 통해 정성적 표현과 추론에 대한 QSR-14의 유용성을 보인다.

주제어 : 정성적 공간 표현 및 추론, 전역적 참조 프레임, RCC-8

* 본 연구는 2010년 홍익대학교 학술연구진흥 지원을 받았으며 '09.2-'10.1학기 연구년 기간 동안 연구결과의 일부임.

† 교신저자 : 변영태, 홍익대학교 컴퓨터공학과, 연구세부분야: 정성적 지식표현 및 추론, 에이전트
E-mail: ytbyun@hongik.ac.kr

서 론

물리적으로 실존하는 어떤 물질들의 상태 및 변화, 그리고 공간관계를 나타내는 공간 정보에 대한 정성적 지식 표현 및 추론은 많은 사람이 상식적으로 사용하고 실행하는 하나의 인간행위이다. 예를 들어 “어떤 식탁 위에 물 컵이 놓여 있고, 그 속에 일정량의 물이 존재하며, 그 컵 옆에는 접시가 하나 있고, 접시위에 큰 사과 하나가 놓여 있다.” 혹은 “두 물방울이 하나로 합해지고 증발하여 없어진다.” 등은 흔히 우리가 접하는 실생활의 한 경험일 것이다. 예에서와 같이, 많은 경우, 정확한 정량적 정보가 없어도 상황 묘사를 정성적으로 하고 있다. 그리고 그 물 속에 식초 혹은 소금을 넣거나, 사과를 반으로 자르거나 등의 행동으로 상황이 변화하고 그 변화된 상황에 대해서도 우리는 적당히 표현하고 그에 대한 추론을 행하게 된다. 정확한 정량적 표현 및 추론이 필요한 경우도 있지만 때로는 정량적인 방법이 어렵고 복잡하거나 혹은 불가능할 수도 있다. 그래서 정량적인 표현이나 추론이 꼭 필요하지 않는 경우나 불가능한 경우는 정성적 방법, 혹은 정성적 방법에 일부 정량적 정보를 추가하여 필요한 일을 진행할 때가 많다. 과학이나 공학에서 정량적 방법이 필요한 경우에도 정량적 모델 개발 과정 중에는 정성적 방법을 사용하는 경우도 있다. 이와 같이 공간의 어떤 상황과 변화에 대해 상식적으로 행하는 정성적 방법에 대한 연구가 정성적 공간 표현 및 추론인 QSR 이란 주제로 진행되어 왔다[1].

본 논문은 고체, 액체, 기체 상태로 존재하는 물질이 중력 또는 자연법칙에 의하여 변화하는 동적 물질세계에 대한 공간 정보 표현을 주로 다룬다. QSR의 대부분의 연구에서 정성적 표현 및 추론 방법은 2차원(2D)에 한정하듯이 본 연구도 2차원 공간에 대한 표현과 추론만을 언급하기로 한다. 공간에 대한 QSR에서 온톨로지 기본 개체(ontological primitive entity)는 흔히 공간에서의 어떤 물질이 존재하는 지역(region)이다. 기하학에서 기본 개체로 점, 그리고 선, 그리고 영역으로 개념을 확장하는 것과는 다르다. 점보다는 지역을 기본 개체로 하는 기하학을 ‘Pointless geometries[8]’라 하고 많은 선행 연구들을 바탕으로 ‘Region connection calculus[15]’에서 RCC-8을 정의하고 있다. RCC-8에 관해선 다음 장에서 구체적으로 언급한다.

지역을 온톨로지 기본 개체로 하였을 때, 현실 세계에서는 지역의 모양, 크기,

상대적 방향과 거리, 정량적 정보(quantitative information) 등 여러 가지 요소들이 모두 표현과 추론의 대상이 될 수 있다. 하지만 RCC-8은 오직 두 개 지역 간의 connection을 기반으로 하는 위상학적 관계만을 포함하고 있어 제한된다. 본 연구는 (1) RCC-8의 두 개 지역 간 connection 기반 위상학적 관계를 바탕으로, (2) 중력으로 변화에 영향을 줄 수 있는 지역 간 상하 방향 정보를 추가하고, (3) 물리적 또는 화학적 자연법칙에 의해 발생하는 지역(물질)의 생성 및 소멸 변화를 포함하도록 확장하여, 동적 물질세계를 상식적(common sense)으로 표현하고, 이해하고, 추론이 용이하도록 하는 지식표현 개발이 목적이다.

본 연구는 물리적 화학적 작용에 의해 변화하는 동적인 물질세계의 정성적 공간 표현 및 추론을 위해 2D QSR에서 고려되어야 하는 여러 측면의 관계와 속성들을 기술하면서 전역적 참조 프레임(global reference frame)의 필요성을 강조하고, RCC-8의 수정 및 확장에 대해 기술한다. 위상학적으로 서로 다른 8 개의 상황을 사용하는 RCC-8을 14개로 확장하고 RCC-8의 위상학적 관계도를 보완 수정한 QSR-14을 제시한다. 그리고 실세계의 예제를 사용하여 정성적인 표현 방법과 추론으로 상황 표현과 변환에 대한 추론 결과를 제시하여 QSR-14의 유용성을 확인하고자 한다.

QSR의 관련 분야로서 지리정보시스템[3], 로봇 네비게이션[10], 비전[5], 물리적 시스템에 대한 인간사고 관련 연구[4], 공학에서의 디자인, 공간 관련 자연어 처리가 필요한 시스템[9], 스케치 맵에 대한 적 방책 분석 시스템[6] 등에 정성적 표현을 사용하는 연구들이 있다. ‘Poverty conjecture[18]’와 관련해선 정량적인 요소가 없어도 정성적 표현과 추론으로 우리가 원하는 일이 어느 정도는 가능하다는 것이 저자의 의견이다.

본 논문은 다음 장에 QSR에서의 표현 대상이 되는 기본 요소와 RCC-8에 대해 기술하고, 그 외 QSR에서의 필요 사항을 3장에서, 본 연구가 확장 대상으로 하는 동적 물질세계 변화와 그에 따른 RCC-8을 수정 확장한 QSR-14과 예제를 4장에서, 그리고 결론으로 매듭짓는다.

2차원에서의 온톨로지 기본 개체와 RCC-8

온톨로지 기본 개체와 용어

빈 공간(empty space)는 어떤 물체가 마음대로 위치할 수 있는 곳으로 이해하고 있다. 다른 식으로 표현한다면 위치하는 물체는 공간의 한 부분을 차지한다는 뜻이고 원래의 공간은 물체의 크기만큼 줄어든다. 그리고 물체는 무게도 갖는다. 즉 물리적으로 일정 양의 질량을 갖고 일정 부분의 공간을 차지하는 것이 물체이다. 그리고 하나의 물체는 자체 내에 빈 공간을 가질 수도 있고, 다수의 물체가 모여 공간을 만들어 낼 수도 있다. 원래의 빈 공간을 물체가 나누어 갖는 것이다. 물체의 물리적 존재 상태와 연계해 보면, 빈 공간에는 진공 혹은 기체 상태의 물체(gaseous matter)가 존재하고, 액체 상태의 물체(liquid matter) 혹은 고체 상태의 물체(solid matter)가 일반적으로 빈 공간을 차지하는 물체로 인식되고 있다. 또한 액체 상태의 물체는 일반적으로 고체 상태의 물체에 공간을 내어준다. 물론 경우에 따라 기체가 중요 사고 대상체가 되어 공간을 차지하는 물체가 되기도 한다. 이와 같이 주어진 빈 공간과 상대적으로 그 공간을 차지하여 위치하고 있는 물체들로 우리들이 생각하는 공간은 이뤄진다.

진공도 있지만 일반적으로 공기로 채워져 있는 무한 대의 빈 공간 Univ(universe)와 물체 M(matter), 그리고 물체들로 인하여 만들어지는 혹은 물체가 차지한 지역(occupied space) R과, 물체의 모양에 따라 만들어 낼 수 있는 또 다른 빈 공간(space) 등을 2차원에 나타내고, 그들이 차지하는 공간을 2차원에서의 온톨로지 기본 개체(ontological primitive entity)인 지역(region)으로 한다. 그리고 앞에서 언급한 'Pointless geometries'를, 즉 점과 직선이 기본 요소가 아니고 일정 공간을 차지하는 지역을 기본 개체로 하는 기하학을 사용하여 공간을 표현하기로 한다. 3차원 실세계의 2차원화에 대해선 다음 장에서 구체적으로 기술한다.

어떤 물체 M이 차지하는 지역이 R이라고 한다면 함수 $\text{Region}(R) = \text{true}$ 로 한다. 즉 함수 $\text{Region}(R)$ 이 참이면 어떤 물체가 지역 R에 있다는 뜻이다. 앞으로 특별한 언급 없이 지역 R를 사용하면 $\text{Region}(R)$ 가 참이란 뜻으로 간주하기로 한다.

2차원에서 지역을 기본 개체로 하여 내부(interior)와 외부(exterior), 폐포(closure), 경

계(boundary)을 정의해 보자. 어떤 지역 R에 대해서 내부를 표현하는 기호 In은, 즉 In(R)은, R이 포함하는 모든 열린 공간(일차원에서 개구간 open interval과 같은 개념)의 합집합을 의미하며, 따라서 In(R)은 R의 부분집합이다. 또 In(In(R))은 In(R) 그 자체로 정의한다. 두 지역의 교집합의 내부는, 즉 In(R1 ∩ R2)는, In(R1) ∩ In(R2)가 된다. 그리고 두 지역의 합집합의 내부는 In(R1) ∪ In(R2)가 된다. 특별히 무한대의 빈 공간 Univ는 오픈 지역으로 하여 In(Univ) = Univ로 한다.

폐포 Closure(R)은 R을 포함하는 모든 닫힌 공간(일차원에서 폐구간 closed interval과 같은 개념)의 교집합을 의미하게 되고, 여(complement)지역 Comple(R)은 전체 Univ에서 R에 속하지 않는 지역을 의미하며, 외부를 표현하는 Ex(R)은 In(Comple(R))으로 정의할 수 있다. 그리고 경계선 Bound(R)은 Closure(R)과 Closure(Ex(R))의 교집합으로 정의할 수 있다.

즉 어떤 지역 R이 있으면 경계를 제외한 것이 내부 In(R)이고, 경계선을 제외한 외부 공간이 외부 Ex(R)이며, 내부와 외부의 구분이 경계 Bound(R), 경계를 포함한 내부는 폐포 Closure(R), 경계를 포함한 외부는 R의 외부의 폐포 Closure(Ex(R))이 된다. 간결성과 편리함을 위해 [14]에서와 같이 본 연구에서는 물체가 차지하는 지역 R은 모두 폐포를 의미하는 것으로 한다. 즉 닫힌 공간으로 한다. 따라서 두 지역 R1과 R2이 연결되어 있다면, 즉 Connection을 의미하는 술어를 사용하여 C(R1, R2)=true이면, 즉 두 지역의 거리가 0이라면, 또 다른 표현으로 Closure(R1)와 Closure(R2)의 교집합이 공집합이 아니면, 혹은 두 지역이 최소한 한 점이라도 공유한다면, 두 지역 각각의 경계가 일부 같은 것으로 해석한다.

RCC-8

앞에서 언급한 술어 C(R1, R2)를 기본으로 사용하여 몇 가지 술어를 아래와 같이 정의 한다[15]. 정의에 사용된 변수의 도메인은 모든 가능 지역 집합이다.

C(R1, R2) is true iff Closure(R1) ∩ Closure(R2) is not empty

A part of : P(R1, R2) ≡ ∀x {C(R1, X) → C(R2, X)}

A proper part of : PP(R1, R2) ≡ P(R1, R2) ∧ ¬P(R2, R1)

$$\text{Overlap} : O(R1, R2) \equiv \exists_x \{P(X, R1) \wedge P(X, R2)\}$$

이제 Connection 술어 $C(R1, R2)$ 와 위에 정의한 술어를 사용하여 위상학적으로 유일하며(서로 다르며), 모든 가능한 경우를 기술하는 두 지역 간의 JEPD(Jointly Exhaustive and Pairwise Disjoint) 관계인 여덟 가지 상황을 기술하는 RCC-8은 다음과 같다.

- (1) Disconnected : $DC(R1, R2) \equiv \neg C(R1, R2)$
- (2) Externally connect: $EC(R1, R2) \equiv C(R1, R2) \wedge \neg O(R1, R2)$
- (3) Partially overlap: $PO(R1, R2) \equiv O(R1, R2) \wedge \neg P(R1, R2) \wedge \neg P(R2, R1)$
- (4) Equal : $EQ(R1, R2) \equiv P(R1, R2) \wedge P(R2, R1)$
- (5) Tangential proper part: $TPP(R1, R2) \equiv PP(R1, R2) \wedge \exists_x \{EC(X, R1) \wedge EC(X, R2)\}$
- (6) Non tangential proper part: $NTPP(R1, R2) \equiv PP(R1, R2) \wedge \neg TPP(R1, R2)$
- (7) Tangential proper part inverse : $TPPi(R1, R2) \equiv TPP(R2, R1)$
- (8) Non tangential proper part inverse : $NTPPi(R1, R2) \equiv NTPP(R2, R1)$

이상과 같이 RCC-8은 두 지역 간의 connection을 기반으로 하는 8가지 위상학적

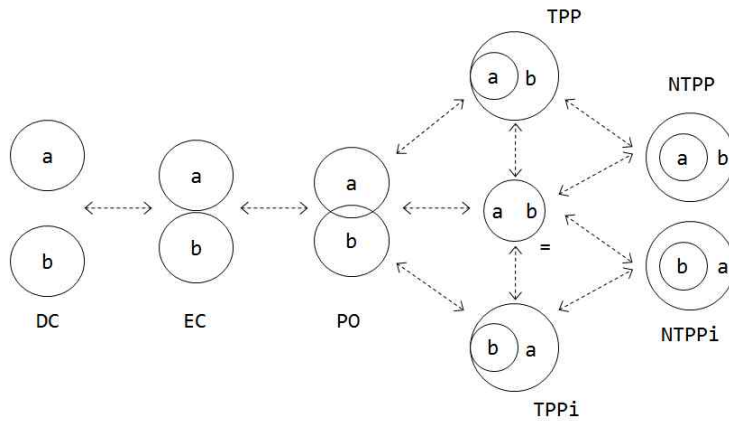


그림 1. RCC-8 정성적 위상 이웃 관계도

관계를 정의하고 관계 변화를 설명한다. 하지만 위상학적이라는 한 가지 측면만으로는 현실 세계의 복잡한 공간 관계를 표현하거나 추론하는데 한계가 있다.

유사 연구로서 [2]와 같이 지역 R1, R2의 위상적인 관계를 나타내는 방법으로 2x2 배열을 생각할 수 있다. In(R1)와 Bound(R1)이 행으로, In(R2)와 Bound(R2)을 열로 표현 했을 때, 그리고 배열 요소 값이 0 일 때는 공유하는 것이 없는 것으로, 그리고 1 일 때는 공유하는 것이 있는 것으로 할 때, 모든 가능한 경우는 16개이다. 그 중에서 실제 불가능한 경우와 도너츠와 같은 모양의 지역을 배제하면 8개만 남는다. 이것은 RCC-8 위상적 관계도의 여덟 개 상황과 일대 일로 맵핑된다.

동적 실세계를 위한 QSR 필요 사항

동적으로 변화하는 실세계에 대한 QSR을 위하여, 위상학적 관계뿐만 아니라 대상 공간의 크기와 차원, 지역 간 상대적 방향과 거리, 물체 또는 물질의 모양, 크기 및 상태 등이 함께 고려되어야 한다. 이 장에서 이들 요소들을 설명하면서 본 연구에서 제안하는 QSR-14의 적용 범위를 구체화 한다.

Montello[14]는 공간을 규모(scale)면에서 크게 figural, vista, environmental, geographical의 네 가지의 공간으로 구분한다. Figural 공간은 사람의 몸집 정도 혹은 그보다 작은 공간으로서 사람의 이동(locomotion) 없이도 감지할 수 있는 공간을 말한다. Vista 공간은 figural 공간과 비교하여 다른 것은 없으나 크기가 조금 큰 공간을 의미한다. Environmental 공간은 크기가 커서 이동이 필요하고 일정한 시간의 경험을 거쳐 인지될 수 있는 공간으로 도시가 좋은 예이다. Geographical 공간은 지도 같은 것이 예제인데 공간이 크고 시간이 필요하나 environmental 공간에서의 경험보다는 기호적으로 인지하는 대상을 의미한다. 이상의 공간들의 예로서 아래의 경우들을 생각해 보자.

case-1) 우리나라와 다른 나라들의 공간 관계

case-2) 수도 서울과 국내 다른 지역과의 관계

case-3) 대학 캠퍼스 공간 정보

case-4) 건물 안의 강의실, 연구실, 실험실 등의 공간 관계

case-5) 실험중 사용 장비와 실험 물질 등의 공간 관계. 혹은 강의실 안에서의 학습 시설들의 공간 정보

본 연구에서 관심을 가지는 공간은 특히 figural 또는 vista 공간이며, 상기 예에서 case-5에 해당한다. 본 연구는 실험실 또는 강의실 정도의 공간에서의 물체 또는 물질의 공간 관계 표현과 물리적, 화학적 변화에 특히 관심이 있다.

우리가 경험하고 활동하는 세계는 공간적으로 3차원 세계이다. 하지만 우리들의 공간에 대한 사고 행위를 보면 모든 경우에 3차원 정보를 필요로 하는 것은 아니다. 상기 모든 예가 3차원 공간이며, 또 경우에 따라 3차원 정보로 표현하거나[11] 표현해야 하는 경우도 있지만, 인간은 대부분의 경우에 2차원으로 정보를 처리한다[3]. 이 경우 2차원화된 공간 정보는 일반적으로 평면도 혹은 측면도로 표현 가능하다. case-5 공간에서의 물체 또는 물질 간 물리적, 화학적 변화는 대부분 평면도적 관계가 아닌 측면도적 관계에 의해 발생한다. 따라서 본 연구는 측면도적 공간관계에 초점을 맞춘다.

지역간 상대적인 방향 관계는 상, 하, 좌, 우 혹은 동, 서, 남, 북과 같은 방향 술어를 통해 표현되는데[16][17], 이는 기본 방위 방향(cardinal direction)이라는 참조 프레임의 적용을 전제함으로써 가능하다. 예를 들어 ‘우리나라의 우측 아래에 일본이 있다’라는 표현은 case-1과 같은 geographical 공간에 대하여 ‘북쪽을 위로 한다’라고 하는 참조 프레임을 적용한 것이다. 앞서의 예에서도 방향 정보를 위해 참조 프레임을 사용하게 되는 것을 알 수 있다. case-1과 case-2는 지구의 경도와 위도선과 일치하는 참조 프레임을 사용한다. 이것은 어느 나라에서나 공통적일 것이다. 본 연구에서 이처럼 각각의 경우에 공통적으로 적용할 수 있는 참조 프레임을 전역적 참조 프레임(global reference frame)이라고 칭한다. case-5의 경우도 모든 사람이 사용하는 전역적 참조 프레임이 있다. 그 방향은 지구 중력 방향선, 혹은 역 방향선과 일치한다. 따라서 이 경우도 공간 정보 표현을 위해 전역적 참조 프레임을 사용한다. case-1과 비교해 보면 3차원적으로 수직인 방향이다.

반면 case-3과 case-4에서는 경우에 따라 상황에 적절한, 즉 공간 정보 표현이 용

이한, 기준 방향을 사용하게 되고 이 참조 프레임을 국부적 참조 프레임(local reference frame) 이라 한다. 표현 대상의 구조적 특성에 따라 선정되는데 case-4와 같은 경우 긴 복도가 존재한다면 입구로부터 그 방향을 참조 프레임으로 사용할 것이다.

국부적 참조 프레임을 사용하는 경우는 참조 프레임에 절대성은 없다. 즉 사람에 따라서, 목적에 따라서, 상황에 따라서 바뀔 수 있고 공간 정보 표현의 적정성에 일반적으로 문제가 없다. 예를 들어 “내 집에서 오른쪽에 A, 앞 쪽에 B가 있다.” 와 “내 집에서 앞 쪽으로 A, 왼 쪽으로 B가 있다.”는 참조 프레임의 방향이 다르지만 모두 해석이 가능한 것으로 이해가 된다.

하지만 전역적 참조 프레임을 사용하는 경우는 그 적정성이 명확하다. “북한과 남한이 인접해 있다.”라는 표현은 참이지만 방향관계까지 포함하여 기술한, “북한이 남한 위쪽에, 혹은 남한의 북쪽에 인접해 있다.” 라는 표현이 더 유용할 것이다. 만약 “북한이 남한 아래 쪽에 있다.” 라는 표현이 주어진다면 국부적 참조 프레임 사용에 따라 참일 수도 있지만 전역적인 경우는 거짓인 표현으로 이해할 것이다. 즉 거의 모두가 사용하는 전역적 참조 프레임이 사용되는 경우는 그것을 사용해야 올바른 공간정보 표현과 추론이 가능하다.

더욱이 case-5의 경우 장비 또는 물질간 물리적 관계 변화에 대하여 중력 방향 참조 프레임 없이 QSR을 진행하는 것은 그 가치성에 문제가 있다. $C(R1, R2)$ 와 같은 단순한 위상적 연결성을 바탕으로 하는 RCC-8만으로는 부족하다. 이렇듯 지역간 방향 관계가 중요한 경우는 [7]과 같이 참조 프레임을 중요 고려 요소로 해야 한다.

RCC-8의 8가지 위상학적 관계에 방위 참조 프레임을 적용한 9가지 방향적 관계를 결합하는 [13]와 같이, RCC-8의 확장은 방위적 방향관계 술어를 추가로 정의하여, RCC-8의 위상학적 관계와 함께 사용하는 것이 일반적이다. 반면에 본 연구는 RCC-8의 위상학적 관계에 방향적 속성을 고려하여 RCC-8의 술어 자체를 확장한다.

지구상에 존재하며 지구중력에 의한 물체 낙하의 경험은 모두에게 존재하고 지면과 수직한 지상을 향한 방향을, 즉 지구 중력 방향을, 전역적 참조 프레임의 기준으로 보는 것이 타당할 것이다. 그리고 일반적으로 지탱하는 물체나 다른 힘의 방해가 없다면 지면으로 추락하는데, 이 ‘지면’을 하락의 하한 면으로 인식하는 것

으로 하고 기본 상수(Constant)로 한다. ‘지면’ 밑은 본 연구에서 생각 안하는 것으로 하고, 모든 사고 대상이 되는 물체는 ‘지면’ 위에 있는 것으로 한다. 예를 들어 물체 M1의 R1이 어떤 물체 M2의 R2 위쪽에 있고 M2는 지면과 접촉하며 그 위에 위치한다면 $D(R1, R2) \wedge D(R2, \text{지면}) \wedge C(R2, \text{지면})$ 이 참이다.

중력 방향의 참조 프레임 안에서 U(up), D(down), EUD(위 아래 관계에서 비슷한 위치), UD(up and down), R(right), L(left), ERL(좌 우 관계에서 비슷한 위치), RL(right and left) 등의 two-place 술어를 사용하여 두 지역 R1 과 R2와의 방향 관계를 나타낸다. 예를 들어 R1의 위 혹은 위 부분에 R2가 있으면 U(R1, R2)이 참이 된다. 본 연구에서는 계산 복잡도를 고려한 단순화를 위해 앞의 세 가지만 사용하기로 한다. 실제로 중력에 의한 변화에서 나머지 방향은 중요하지 않다.

두 지역의 거리도 중요한 정보이다. [12]과 같은 정성적 표현들이 연구되어 있지만 본 연구에서는 인접한 지역 간의 표현을 사용하고자 하기 때문에 거리에 대해선 더 이상 기술하지 않는다.

수많은 물체의 모양과 크기는 무척 다양하고 이것들에 대한 정성적 표현 그 자체만으로도 별도의 논문 주제가 될 수 있다. 많은 논문들이 이 주제를 다루고 있고 연구되어야 할 것도 많이 있지만 본 연구에서는 술어 C(R1, R2) 기반의 것들에 초점을 맞추기 위해 모양과 크기는 비교적 단순화 한다.

모양(Shape)은 볼록형(CV: convex), 오목형(CC: concave), 둘러쌓음형(WA:wrap-around), 혼합형(HYB: hybrid, undefined도 포함)으로 구분한다. 본 연구에서는 중력이 작용하는 실세계의 고, 액, 기체 물질들의 물리화학적 변화에 따른 동적 세계의 QSR을 위해 초기에 주어지는 모든 물질은 CV에 한정하기로 한다. 그리고 지속적인 외부에서 힘의 작용은 없는 것으로 한다. 다만 물리화학적 작용으로 인한 변화를 통해 어떤 물질의 모양은 CC 혹은 WA 등으로 변화할 수 있을 것이다. 크기(Size) 또한 중요한 사항중 하나이지만 본 연구에선 QSR-14 집중하기 위해 더 이상 언급하지 않는다. 추후 다차원 추론시 포함시킬 것이다.

과학적으로 물체는 일정 무게와 부피를 가지며 그 존재 상태는 고체, 액체, 기체로 구분한다. 고체는 모양과 부피가 일정하고 압축되지 않고 단단하다. 액체는 담는 용기에 따라 모양이 변하지만 부피가 일정하고 거의 압축되지 않으며 흐르는 성질이 있다. 기체는 담는 용기에 따라 모양이 달라지고 온도와 압력에 따라 부피

가 크게 달라진다. 그리고 흐르거나 확산하는 성질이 있다. 각 존재 상태에 관한 기타 자세한 내용은 일반적인 상식으로 간주하여 여기서는 더 이상 기술하지 않는다.

QSR-14와 예제

지역을 온톨로지 기본 개체로 하는 RCC-8과 마찬가지로 QSR-14에서도 점이 아니라 지역을 기본 개체로 한다. 그리고 전역적 참조 프레임은 지구 중력 방향을 아래쪽 D(down)로 표현하고 역방향을 위쪽 U(up)으로 표현한다. 두 개 이하의 지역을 표현 대상으로 하여 정성적 차이가 있는 상황들과 그들의 변환 이웃 관계도와 예제들을 기술한다.

QSR-14

사용하는 기본 술어와 14 개의 JEPD 상황 및 그들의 변환 이웃 관계도와 더불어 몇 개의 변환에 관해 기술한다. 14개의 상황 중 12개는 두 개의 지역이 존재하는 상황이고 나머지 두 개 상황은 하나 이하의 지역이 존재하는 상황이다. 따라서 QSR-14는 2개 이하의 지역이 존재하는 서로 다른 상황들을 열거하고 그들의 이웃 관계를 기술하고 있다. 여기에서 RCC-8에 추가 혹은 수정하여 사용하는 기본 술어는 다음과 같다.

$U(R1, R2)$: 전역 참조프레임에서 R1의 위 혹은 위 부분에 R2가 있음.

$D(R1, R2)$: “아래 혹은 아래 부분에”.

$EUD(R1, R2)$: “두 지역이 위, 아래가” 아닌 비슷한 위치에 있음.

$EQ(Ri, Rj)$: true iff $i = j$. 즉 다른 물질이 아닌 하나의 물질로 존재하는 하나의 지역.

(RCC-8에서는 하나가 아닌 두 개의 지역이 위치와 모양이 같을 때 true임)

술어 $P(R1, R2)$, $PP(R1, R2)$, $O(R1, R2)$ 는 RCC-8과 같다. 이제 전역적 참조 프레

임을 사용한 JEPD 14개의 상황을 논리식으로 기술한다.

- (1) Disconnected : $DC(R1, R2) \equiv \neg C(R1, R2)$
- (2) Externally Connect Up : $ECU(R1, R2) \equiv C(R1, R2) \wedge \neg O(R1, R2) \wedge U(R2, R1)$
- (3) Partially Overlap Up : $POU(R1, R2) \equiv O(R1, R2) \wedge \neg P(R1, R2) \wedge \neg P(R2, R1) \wedge U(R2, R1)$
- (4) Tangential Proper Part Up : $TPPU(R1, R2) \equiv PP(R1, R2) \wedge \exists_x [EC(X, R1) \wedge EC(X, R2)] \wedge U(R2, R1)$
- (5) Non Tangential Proper Part : $NTPP(R1, R2) \equiv PP(R1, R2) \wedge \neg TPP(R1, R2)$
- (6) Tangential Proper Part Down : $TPPD(R1, R2) \equiv PP(R1, R2) \wedge \exists_x [EC(X, R1) \wedge EC(X, R2)] \wedge D(R2, R1)$
- (7) Externally Connect Up inverse : $ECUi(R1, R2) \equiv ECU(R2, R1)$
- (8) Partially Overlap Up inverse : $POUi(R1, R2) \equiv POU(R2, R1)$
- (9) Tangential Proper Part Up inverse : $TPPUi(R1, R2) \equiv TPPU(R2, R1)$
- (10) Non Tangential Proper Part inverse : $NTPPi(R1, R2) \equiv NTPP(R2, R1)$
- (11) Tangential Proper Part Down inverse : $TPPDi(R1, R2) \equiv TPPD(R2, R1) \wedge PP(R3, R4) \wedge \exists_x [EC(X, R3) \wedge EC(X, R4)] \wedge D(R3, R4)$
- (12) Externally Connect Side : $ECS(R1, R2) \equiv C(R1, R2) \wedge \neg O(R1, R2) \wedge EUD(R1, R2)$
- (13) Single Region: $SR \equiv \exists_x [Region(X)] \wedge \forall_{x1, x2} [Region(X1) \wedge Region(X2) \rightarrow EQ(X1, X2)]$
- (14) No Region: $NR \equiv \neg \exists_x [Region(X)]$

정성적 이웃 관계도 및 예제

그림 2는 중력이 작용하는 실세계에서 전역적 참조 프레임을 사용한 동적인 변화를 나타내는 QSR-14의 정성적 위상 이웃 관계도이다. 이 관계도에서의 이웃 상황으로의 변환을 일으키는 요인은 두 가지이다. 하나는 외부적 요인이고 다른 하

나는 실세계의 물리화학적 변화이다. 본 연구에서는 위상적 요소와 QSR의 특성을 간단히 하기 위해 외부 요인(사고 대상체의 추가, 제거와 이동 등)에 의한 상황은 1(DC), 2(ECU), 7(ECUi), 12(ECS), 13(SR), 14(NR)에 한정 한다. 외부 요인도 최소화하기 위해 다음과 같은 경우만을 고려한다.

외부 요인에는 두 가지가 있다. 먼저 NR에서 SR로의 변환은 새로운 물질을 가져다 놓음으로 해서, 즉 새로운 물질의 지역을 사고 대상체로 생각함으로 해서 생기는 변환이다. 마찬가지로 SR에서 DC로의 변환도 새로운 물질을 연결하지 않는 상태에서 가져다 놓는 변환이다. 이 때 SR의 S는 DC의 A 혹은 B가 되고 새로 가져다 놓은 물질이 B 혹은 A가 된다. 이와 같이 새로운 물질을 추가하는 혹은 제거하는 행위로 발생하는 것이 첫 번째 외부 요인이고, 두 번째 외부 요인은 물체의 접촉까지의 이동이다. DC에서 ECU, ECS, 혹은 ECUi로의 변환은 연결되지 않은 물질들이 connect 되도록 하는 행위이다. 이때 행위의 끝은 C(R1, R2)가 참이 되는 순간이다. 기술한 두 가지 외부 요인 외에는 다른 외부 요인은 없는 것으로 한다. 참고로 DC에서 SR로, 혹은 SR에서 NR로의 변환은 외부 요인 없이도 실세계에서 가능한 변환이다. 하지만 온도, 기압 등의 상황 변화 요소는 수용한다.

그림 2에서 NR은 사실상 공기 혹은 진공을 의미하는데 공기가 있다고 하는 경

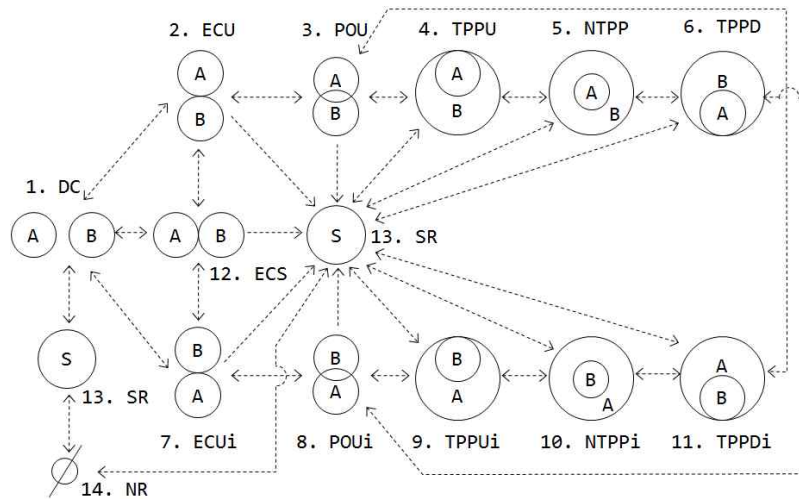


그림 2. QSR-14 정성적 위상 이웃 관계도

우 SR로도 생각할 수 있으나 일반적인 경우 아무 것도 없는 것으로 사고해도 문제가 안 될 경우가 많기 때문에 공기가 있는 빈 공간은 일반적으로 NR 상황으로 해석한다. 하지만 경우에 따라 공기 자체가 A 혹은 B가 될 수 있다.

대부분의 이웃 변환이 양방향이지만 일부는 단방향임을 주시할 필요가 있다. 예를 들어 2(ECU)에서 13(SR)로의 변환은 단방향이다. 두 물체가 접촉하여 하나의 물체로 변하는 경우이다. 하지만 역방향의 직접적인 변환은 불가능하다. 13(SR)에서 5(NTPP) 혹은 4(TPPU) 등을 통해 3(POU)을 거쳐 2(ECU)로의 변환은 경우에 따라 가능할 수가 있다. 따라서 양방향과 단방향에 유의할 필요가 있다.

다음은 몇 가지 예를 들어 정성적 이웃 관계도에서의 변환을 기술한다. 모든 예에서 QSR-14의 특징적인 변환, 즉 중력에 의한 방향관계 변환 또는 자연법칙으로 발생하는 지역의 생성과 소멸을 관찰할 수 있다. 이러한 사항들은 RCC-8에서는 표현 불가능한 것들이다.

<예-1> 물 속에 각설탕을 넣을 경우: 순서화 된 쌍 (DC ECU) (ECU POU) (POU TPPU) (TPPU NTPP) (NTPP TPPD) (TPPD SR) 과정이 순서적으로 일어난다. 각설탕을 물의 표면에 접촉시키는 첫 쌍의 변환은 외부요인에 의해 일어난다. 두 번째 쌍은 상호 상하 접촉하고 있는 각설탕과 물에 작용하는 중력과 상대적 비중에 의해 일어난다. 마지막 쌍은 각설탕이 시간이 지나며 물에 녹아 지역으로는 두 개에서 하나로 변하는 변환이다. QSR-14에서는 이처럼 2개의 물질이 하나로 합쳐지는, 즉 1개의 지역이 소멸하는 변환이 가능하다.

<예-2> 혼합물 수용액에서 기포 발생: (SR NTPP) (NTPP TPPU) (TPPU POU) (POU ECU) (ECU DC) (DC SR) 과정이 순서적으로 일어난다. 첫 쌍은 1개 지역에 존재하는 기온 또는 압력의 변화에 의해 용해도가 낮아지면서 자연법칙에 의해 기포가 발생하는 변환이다. QSR-14에서는 이렇듯 자연 법칙에 의해 새로운 물질과 지역이 생성되는 변환이 가능하다. 발생한 기포, 물, 그리고 외부 공기에 대하여 작용하는 중력과 각각의 상대적 비중은 두 번째 쌍에서 다섯 번째 쌍까지의 변환을 일으킨다. 마지막 쌍은 기포가 수용액 위에서 Univ와 닿으며 날라 가벼움으로 해서 다시 SR로 변하는 것이다. 즉, 기포가 차지하고 있던 1개 지역이 소멸한다.

시작의 SR과 마지막의 SR은 물질 정보에서 차이가 날 것이다. SR과 TPPU, NTPP, TPPD와는 양 방향이지만 POU와는 단 방향이다. SR에서 어떤 이유로 두 개의 지역이 발생할 때 POU로 바로 갈 수가 없기 때문이다. 반면 (POU SR) 이웃 변환은 비누 같은 것이 녹아 비눗물이 되는 경우에 가능하다.

<예-3> 물과 술의 혼합: (DC ECU) (ECU SR) 과정이 발생한다. 물과 술 두 지역의 물체가 섞여 하나의 지역을 차지하는 수용액이 되기 때문이다. 이전에 두 물체의 위치를 어떻게 두느냐에 따라 (ECS SR) 또는 (ECU_i SR)의 변환도 가능하다. 하지만 이 모든 경우에서 그 역은 성립하지 않는다. 이 예에서 자연법칙에 의한 1개 지역의 소멸을 관찰할 수 있다.

<예-4> 소금물 용액의 침전: (SR, TPPD) 과정이 발생한다. 물을 가열하면 용해도가 높아지므로 보다 많은 양의 소금을 용해시킬 수 있다. 하지만 온도가 내려가면 용해도가 낮아지고, 수용액의 소금이 침전되기 시작한다. 한편, 다시 가열하면 (TPPD SR)의 역 변환이 가능하다. 이 예에서 1개 지역의 생성과 소멸을 관찰할 수 있으며, 생성된 소금과 수용액의 위치 관계는 중력과 소금과 수용액의 상대적 비중에 의해 발생한다.

<예-5> 물과 기름의 분리: 물과 기름을 병에 넣고 마개를 닫고 흔들면, 하나의 용액으로 섞여서 SR 상태가 된 것처럼 보인다. 그러나 이 상태는 일시적이다. 기름은 물에 녹지 않고 서로 비중이 다르므로, 그대로 두면 시간이 지남에 따라 다시 물과 기름으로 분리된다. 이 과정을 용액에서 기름이 떠오르는 것으로 볼 수도 있고, 용액에서 물이 가라앉는 것으로도 볼 수 있다. 각 관점에 따라 (SR TPPU) (TPPU, POU) (POU ECU) 또는 (SR, TPPD) (TPPD POU) (POU ECU) 과정으로 표현할 수 있다. 물과 기름의 상대적인 양에 따라 기름의 양이 적다면 전자로, 물의 양이 적다면 후자로 표현하는 것이 자연스럽다. 섞였던 물과 기름 혼합 용액이 분리되는 과정에서 새로운 지역이 생성되는 것을 관찰할 수 있다. 또한 다른 예에서와 같이 물과 기름의 위치 관계 변화는 중력과 두 물질의 상대적 비중에 의해 발생한다.

앞에서 언급했듯이 물체의 모양을 CV로 전제하고 외부 요인을 추가 및 제거와 접촉까지의 이동을 전제하여 ECU 혹은 ECUi와 달리 ECS에서 overlap 되는 상황으로의 변환이 없는 것은 접촉 순간에 두 물질 상호 간에 상하로 작용하는 지구 중력이 무관하기 때문이다. 물론 3차원의 2차원화에서 어떤 물질의 옆으로 이동으로 인하여 overlap되는 경우가 발생하는 경우가 발생하지 않는 것은 아니나 이 경우 다음의 두 가지 경우 중 하나로 생각할 수 있다.

첫 번째 경우는 물질의 물리 화학적 변화를 발생하지 않는 경우, 즉 3차원적으로 떨어져 있는 경우이기 때문에 물리 화학적 변환이 불가능하므로 의미가 없고 이 경우 적절한 단면을 선택하는 2차원화 작업으로 overlap 없는 것으로 처리 가능하다. 두 번째 경우는 3차원적으로 connect되는 경우인데 이때는 SR로 변환하거나(예: 두 개의 물방울은 인접하면 하나로 뭉치는 경우), 아니면 ECS 그 상태를 유지하거나(예: 테이블 위에 사과와 배가 connect된 상황에 있는데 사과를 배 쪽으로 미는 경우), ECU(예: 테이블 위의 물방울에 비중이 물보다 작은 불용성 물질을, 혹은 공기방울을 접촉시키는 경우) 혹은 ECUi(앞의 예와 반대)로 변환하여 필요시 계속된 변환이 가능한 경우가 된다.

QSR-14에서 SR이 두 곳에 있는데, 도식적으로 표현하기 위해 두 개로 표현되어 있지만 정성적으로는 같은 상황이다. 그리고 어느 경우이든지 NR로의 변환은 가능하다.

예제를 통해서 확인한 바와 같이 QSR-14은 두 지역 사이의 공간 관계 표현에 대하여 RCC-8의 connection 기반 위상학적 관계를 모두 포함하면서, 별도의 추가 술어의 도입 없이 중력에 의한 방향 관계 변화와, 자연법칙에 의한 지역의 생성과 소멸까지 기술할 수 있다.

서론에 기술한 추가된 (2)와 (3) 사항 때문에 RCC-8과 직접적인 복잡도(complexity) 비교는 의미가 없을 수 있다. RCC-8에도 이런 요소들을 도입하려면 술어의 확장이 필요할 것이다. 다만 QSR-14에서 SR로부터의 변환 가능 이웃이 8개이기 때문에 계산 복잡도가 증가할 수는 있다.

결 론

어떤 물질들의 상태 및 변화, 그리고 공간관계를 나타내는 공간 정보에 대한 정성적 지식 표현 및 추론은 많은 사람이 상식적으로 사용하고 실행하는 인간행위이다. 정량적인 표현이나 추론이 꼭 필요하지 않거나 불가능한 경우는 정성적 방법, 혹은 정성적 방법에 일부 정량적 정보를 추가하여 필요한 일을 진행할 때가 많다. 이와 같은 공간의 어떤 상황과 변화에 대하여 상식적으로 행하는 정성적 방법에 대한 연구인 QSR에서 2차원에 한정된 RCC-8 방법이 있다. 점 혹은 직선을 시작으로 하는 일반 기하학과는 달리 지역을 온톨로지 기본 개체로 하고 있으며 위상적 의미에서 두 개의 지역에 관해 Connection 기반의 논리식 및 개념적 이웃과 변환을 나타낸 것이다.

본 논문에서는 실세계에서 일어나는 물리적 화학적 작용에 의해 변화하는 동적인 물질세계의 정성적 공간 표현 및 추론을 위해 RCC-8의 수정 확장된 방법을 제안한다. 인간의 공간 추론을 고려해 볼 때, 2D의 정성적 공간 표현 및 추론에서 전역적 참조 프레임(global reference frame)의 사용을 인지하여 그 필요성을 기술하고, 전역적 참조 프레임을 사용하여 물질세계의 물리적 화학적 변화를 표현하고 추론하기 위한 QSR-14 방법을 기술한다.

JEPD의 정성적으로 다른 14개의 상황과 그들 간의 변환을 포함하고 있는 QSR-14은 RCC-8의 위상적 관계도에 기초하지만, 실제 세계의 정성적 공간 표현 및 변화에 보다 적합하다고 판단된다. RCC-8만으로는 불가능한 중력에 의한 지역간 방향 관계 변화와 자연법칙에 의한 지역의 생성과 소멸을 기술할 수 있기 때문이다. 그리고 동적인 물질세계의 예제를 사용하여 정성적 표현과 추론을 위한 QSR-14의 유용성을 기술하고 있다.

본 연구는 다음과 같은 논쟁의 소지는 있다. 첫 번째, “위상적 관계와 방향 관계는 각각 별도의 사고 대상인데 이들을 하나로 통합하는 것이 바람직한가?”이다. 학문 분야 내에서 논란이 될 수 있는 문제이며 앞으로 더 연구가 필요하다. 두 번째, 동적 물질세계를 위하여 QSR-14이 적절하다고 판단되지만, RCC-8에 기본 방위 방향 정보를 추가하여 공간 관계를 표현하는 연구보다는 일반성(generality)이 떨어질 수 있다는 것이며, 앞으로의 연구를 통해 보완이 필요한 과제이다.

본 연구의 결과를 바탕으로 앞으로 다단계 표현 방법 및 추론에 대한 연구가 진행될 수 있다. 다 단계(level)의 기술 방법으로 low level에서 QSR-14에서 사용하는 표현 방법을 사용하고, 물질 명과 존재 상태, 정성적 크기, 모양 등의 기술을 middle level에, 그리고 해당 물질의 정량적 정보를 high level에 기술하고, 자연 변화에 관련한 과학지식의 포함과 함께 상황에 따라 요구되는 표현과 추론을 위해 적정 레벨의 정보를 사용함으로써 보다 인간의 추론 행위에 근접할 수 있는 방법을 찾아보고자 한다.

참고문헌

- [1] Cohn, A.G. and Renz, J. (2008), Handbook of Knowledge Representation, Elsevier, 551-596(Ch. 3. Qualitative Spatial Representation and Reasoning).
- [2] Egenhofer, M.J. and Franzosa, R.D. (1991), Point-Set Topological Spatial Relations, International Journal of Geographical Information Systems, Vol. 5(2).
- [3] Egenhofer, M.J. and Mark, D. (1995), Naive Geography, A.U. Frank and W. Kuhn (eds.) Spatial Information Theory: A Theoretical Basis for GIS, Proc. COSIT '95, LNCS No. 988, Springer-Verlag.
- [4] Faltings, B. (1992), A Symbolic Approach to Qualitative Kinematics, Artificial Intelligence, Vol. 56.
- [5] Fernyhough, J., Cohn, A.G. and Hogg, D. (2000), Constructing Qualitative Event Models Automatically from Video Input, Image and Vision Computing, Vol. 18.
- [6] Forbus, K.D., Usher, J. and Chapman, V. (2004), Qualitative Spatial Reasoning about Sketch Maps, AI magazine, Vol. 25(3), 61-72.
- [7] Frank, A.U. (1992), Qualitative Spatial Reasoning about Distances and Directions in Geographic Space, J. of Visual Languages and Computing Vol. 3.
- [8] Gerla, G. (1995), Pointless Geometries, Handbook of Incidence Geometry, Elsevier Science.
- [9] Gooday, J.M. and Cohn, A.G. (1996), Visual Language Syntax and Semantics: A

- Spatial Logic Approach, Marriott and Meyer (eds.) Proc. AVI'96 Workshop on Theory of Visual Language.
- [10] Kuipers, B. and Byun, Y-T. (1991), A Robot Exploration and Mapping Strategy Based on a Semantic Heirarchy of Spatial Representations, J. of Robotics and Autonomous Systems, Vol. 8.
- [11] Li, C., Lu, J. and Yin, C. (2009), Qualitative Spatial Representation and Reasoning in 3D Space, 2009 Second International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation.
- [12] Liu, J. (1998), A method of spatial reasoning based on qualitative trigonometry, Artificial Intelligence, Vol. 98, 137-168.
- [13] Liu, W., Li, S. and Renz, J. (2009), Combining RCC-8 with Qualitative Direction Calculi: Algorithms and Complexity, IJCAI '09 Proc. 21st international joint conference on Artifical intelligence
- [14] Montello, D. (1993), Scale and Multiple Psychologies of Space, COSIT 1993, LCNS. vol. 716, Springer Verlag.
- [15] Randell, D. A., Cui, Z. and Cohn, A. G. (1992), A spatial logic based on region and connection, Principles of Knowledge Representation and Reasoning, Proc. 3rd Intl. Conf. Morgan Kaufmann,
- [16] Renz, J. and Nebel, B. (2007), Handbook of Spatial Logics, Springer, 161-216(Ch 4. Qualitative Spatial Reasoning Using Constraint Calculi).
- [17] Skiadopoulos, S. and Koubarakis, M. (2005), On the consistency of cardinal direction constraints, Artificial Intelligence vol. 163, 91-135
- [18] Weld, D.S. and De Kleer, J. (1990), (eds.) Reading in Qualitative Reasoning about Physical Systems, Morgan Kaufman

1 차원고접수 : 2010. 11. 4

2 차원고접수 : 2011. 2. 17

최종게재승인 : 2011. 2. 28

(*Abstract*)

A Method QSR(Qualitative Spatial Representation and Reasoning)-14 Using a Global Reference Frame for a Dynamic Physical World

Gyudong Park

Agency for Defence Development
JTDLIS PMO

Young-tae Byun

Hongik Univ.
Dept. of Computer Engineering

When quantitative representation and reasoning about space is difficult or impossible in a real world, we can use qualitative representation and reasoning. RCC-8 is a well-known qualitative method for 2D space. RCC-8, in which a basic ontological primitive entity for space is a region, shows the connection-based logics and the conceptual neighbors and transitions of topological status between two regions. The transitions happen by changing position or size of regions. However, more aspects have to be considered for representing and reasoning of the world. We propose a modified and extended method QSR-14 for qualitative spatial representation and reasoning of a dynamic physical 2D world in the gravitation field. We mention the need of a global reference frame and describe QSR-14 in detail for representing and reasoning of physical and chemical changes of a real world using the global reference frame. We believe QSR-14 is appropriate for the qualitative spatial representation and reasoning of a dynamic physical world. The usefulness of QSR-14 is shown with several examples.

Key words : *Qualitative Spatial Representation and Reasoning, Global Reference Frame, RCC-8*