

공간 데이터베이스에서의 위상-방향 관계에 대한 추론

황 환 규, 문 현 수^o, 정 호 영
강원대학교 컴퓨터·정보통신공학부

Reasoning about Topological-Directional Relations in Spatial Databases

Whan-Kyu Whang, Hyun-Soo Moon^o, Ho-Young Jung
Dept. of Computer, Information & Communication Eng. Kangwon National Univ.

요 약

공간 관계는 공간 데이터베이스에서 질의 최적화를 위해 중요한 역할을 한다. 만일 공간 객체간의 공간 관계를 미리 알 수 있다면, 비용이 많이 드는 질의 처리는 피할 수 있다. 공간 데이터에 대한 공간 관계의 질의를 효과적으로 답하기 위해서는 각 공간 객체들의 공간 관계 파악이 중요하다. 그러나 방대한 양의 공간 데이터에 대하여 객체간의 모든 공간 관계를 저장한다는 것은 사실상 불가능하다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 자주 사용하는 공간 관계를 저장하고 자주 사용하지 않는 관계는 필요시 생성하는 것이 효율적이다. 본 논문에서는 공간 관계가 일부 주어졌을 때 주어진 공간 관계로부터 새로운 공간 관계를 추론하기 위한 공간 관계 추론 규칙을 제시하고자 한다.

1. 서 론

공간 데이터베이스는 지리정보시스템(GIS), CAD/CAM, 컴퓨터비전, 로보틱스, 지도제작 등 광범위한 응용에 사용되고 있다. 공간 데이터베이스에서 공간 관계에 대한 질의가 빈번함에도 불구하고 질의 최적화 방법에 대한 연구가 비교적 적게 이루어졌다. 예를 들면 “하나의 나라와 국경을 접하는 나라의 이름을 모두 열거하시오” 또는 “한 호수의 북쪽에 위치한 모든 건물을 찾으시오” 등의 질의는 공간 데이터베이스에서 빈번히 발생한다. 공간 데이터베이스에서의 공간 질의는 절대 좌표를 사용하는 것보다 공간 객체간의 공간 관계를 파악하여 처리하는 것이 보다 효율적이다 [1, 2, 4]. 만일 공간 객체 사이의 공간 관계를 일부 알고 있으면, 새로운 공간 관계는 부분적으로 알려진 공간 관계에서 추론할 수 있어 비용이 많이 드는 공간 질의 처리를 피할 수 있다.

공간 객체를 효과적으로 다루기 위해서 전통적인 방법에서는 다차원의 공간 데이터를 점으로 변환하여 저장하였다. 이것은 공간 정보를 단순히 기존 레코드에 새로운 필드를 추가함으로써 기존의 데이터베이스 관리 시스템을 그대로 사용할 수 있었다. 이러한 방식은 단순한 데이터의 검색을 필요로 하는 데서는 문제가 없다. 하지만 공간 객체에 대한 공간 관계의 질의를 효과적으로 답하기 위해서는 단순히 데이터베이스에 저장된 공간 속성에만 의존해서 해결할 수는 없다. 이러한 공간 객체에 대한 질의를 효과적으로 답하기 위해서는 공간상의 관계를 명시하여 저장할 수 있었지만 이것은 대용량의 데이터가 필요하며, 또한 사진에 어떤 종류의 질의인지 파악할 수 없으므로 모든 공간 객체에 대한

공간 관계를 처리해서 저장해야 하는데 이에 대한 비용이 엄청나게 소요된다. 더욱이 수시로 공간 객체의 갱신이 이루어지는 동적인 환경에서 매번 이들의 관계를 계산하여 저장하는 것은 엄청난 오버헤드를 요한다. 따라서 공간 관계에 대한 질의가 있을 때마다 저장된 공간 데이터로부터 최소의 비용으로 공간 관계를 파악하는 것이 중요하다.

공간 관계는 방향 관계, 거리 관계, 위상 관계로 분류된다. 방향 관계는 왼쪽(left), 위(above), 남쪽(south) 등이 있으며, 거리 관계의 예로는 가까움(nearest), 멀리 멀어짐(farthest) 등이 있다. 또한 위상 관계로는 일치 관계(equal), 접촉 관계(meets), 포함 관계(is-contained-in, contains), 겹침 관계(overlap) 등이 있다. 이 중 위상 관계는 공간 관계에서 중요한 위치를 차지하며 이에 대한 연구가 집중적으로 이루어졌다 [3, 4]. 본 논문에서는 공간 객체 사이에 자주 사용되거나 중요한 의미를 갖는 공간 관계를 최소로 저장하고 이들로부터 공간 관계를 추론하는 것을 제시하고자 한다. 공간 관계의 추론이 가능한 관계는 방향 관계, 위상 관계, 또는 이들로부터 결합된 공간 관계이며 주어진 공간 관계로부터 추론이 가능한 규칙을 제시하고자 한다.

2. 위상 관계의 추론

두 객체 X와 Y사이의 위상 관계는 X와 Y의 경계, 내부, 외부에 대한 교차에 의해 표현된다 [3]. 9개 교차가 공집합인지 아닌지 그 여부에 따라 512개의 서로 다른 위상 관계가 존재하게 된다. 서로 다른 512개의 위상 관계 중에서 오직 8개의 위상 관계만이 의미를 가질 수 있다. 8개의 관계는 상호 배제적이며, equal(e), disjoint(d), overlap(o), meets(m), contains(c), contained-in(ci), properly-contained-in(pci) 등으로 그림 1에 나타나 있다.

1) 본 논문은 97-99년도 정보통신연구진흥원의 대학기초연구사업의 지원을 받았음

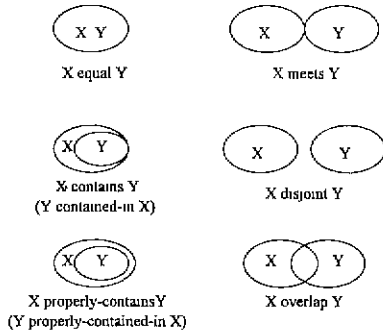


그림 1 객체 X와 Y사이의 위상 관계

규칙 1: 위상 관계 이행 규칙

객체 X와 Y, Y와 Z, 그리고 X와 Z사이의 위상 관계를 R_1, R_2, R_3 라고 하자 세 객체 X, Y, Z는 다음의 관계를 지닌다.

$$(X R_1 Y) \wedge (Y R_2 Z) \rightarrow (X R_3 Z)$$

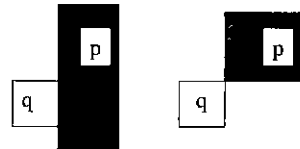
R_1 과 R_2 각각은 집합 {e, c, pc, ci, pci, d, o, m} (즉 ALL에 해당)에 있는 원소들 중의 하나이고, R_3 은 ALL의 부분집합일 수 있다 표 1은 주어진 R_1 과 R_2 를 이용하여 R_3 을 구하기 위한 이행 규칙 테이블(transitive rule table: TR table)을 나타낸 것이다. 이행 규칙 테이블에서 R_1 과 R_2 는 각각 행과 열을 위한 인덱스 역할을 하며, 이 결과로 나타나는 엔트리 $TR(R_1, R_2)$ 가 R_3 를 의미한다 다시 말해, 세 개의 공간 객체 X, Y, Z가 주어지고 X와 Y간의 위상 관계와 그리고 Y와 Z간의 위상 관계가 주어지면, 이행 규칙 테이블은 X와 Z간에 주어지지 않았던 새로운 위상 관계 집합을 제시하는 역할을 한다. 주어진 위상 관계로부터 새로운 위상 관계의 유도는 두 객체 X와 Z 사이에 유도할 수 있는 관계가 공통 객체를 이행 경로의 중심으로 하여 이행 규칙 테이블에서 얻은 위상 관계에 대한 교집합으로 이루어진다는 것에 기초를 두고 있다. 예를 들면, 만일 X와 Z 사이의 위상 관계가 공통 객체 Y를 통하여 이행 규칙 $(X R_1 Y) \wedge (Y R_2 Z) \rightarrow (X R_3 Z)$ 에 의한 위상 관계의 결과가 {r1, r2, r3}이고, 또한 공통 객체 W를 통한 이행 규칙 $(X R_1 W) \wedge (W R_2 Z) \rightarrow (X R_3 Z)$ 에 의한 위상 관계의 결과가 {r3, r4, r5}이라면 교집합의 결과가 공집합이 되면 주어진 위상 관계가 상호 모순이 존재한다는 것을 의미하며 주어진 위상 관계에 대한 일관성 검사를 사용된다 [5].

| Y R ₂ Z X R ₁ Y | e | c | pc | ci | pci | d | o | m |
|--|-----|-------------------|----------------|------------------|-------------------|----------------|------------------|-------------------|
| e (equal) | e | c | pc | ci | pci | d | o | m |
| c (contains) | c | c, pc | pc | e, c, ci, o | ci, pci, o | c, pc, d, o, m | c, pc, o | c, pc, o, m |
| pc (properly-contains) | pc | pc | pc | c, pc, o | c, pc, ci, pci, o | c, pc, d, o, m | c, pc, o | c, pc, o |
| ci (contained-in) | ci | e, c, ci, d, o, m | c, pc, d, o, m | ci, pci | pci | d | ci, pci, d, o, m | d, m |
| pci (properly-contained-in) | pci | pci, d, o, m | ALL | pci | pci | d | ci, pci, d, o, m | d |
| d (disjoint) | d | d | d | ci, pci, d, o, m | ci, pci, d, o, m | ALL | ci, pci, d, o, m | ci, pci, d, o, m |
| o (overlap) | o | c, pc, d, o, m | ci, c, d, o, m | ci, pci, o | ci, pci, o | c, pc, d, o, m | ALL | c, pc, d, o, m |
| m (meets) | m | d, m | d | ci, pci, o, m | ci, pci, o | c, pc, d, o, m | ci, pci, d, o, m | e, c, ci, d, o, m |

표 1 위상 관계의 이행 규칙 테이블

3. 방향 관계의 추론

방향 관계 east(p, q)는 객체 p의 모든 점들의 x 좌표가 객체 q의 모든 점들의 x 좌표보다 크거나 같다는 것을 의미한다 즉 객체 p는 그림 2a의 어두운 영역에 있다는 것을 의미한다. 마찬가지로 northeast(p, q)는 객체 p의 모든 점들의 x, y 좌표가 객체 q의 모든 점들의 x, y 좌표보다 크거나 같다는 것을 의미한다. 즉 객체 p는 그림 2.b의 어두운 영역에 있다는 것을 의미한다 표 2는 방향 관계에 대한 정의를 나타낸다



a. east(p,q) b. northeast(p,q)

그림 2 방향 관계

| 방향 관계 | 정의 |
|-----------------|--|
| east(p, q) | $p_{l-x} \geq q_{u-x}$ |
| west(p, q) | $p_{u-x} \geq q_{l-x}$ |
| south(p, q) | $p_{u-y} \geq q_{l-y}$ |
| north(p, q) | $p_{l-y} \geq q_{u-y}$ |
| northeast(p, q) | $(p_{l-y} \geq q_{u-y}) \wedge (p_{l-x} \geq q_{u-x})$ |
| southeast(p, q) | $(p_{u-y} \geq q_{l-y}) \wedge (p_{l-x} \geq q_{u-x})$ |
| northwest(p, q) | $(p_{l-y} \geq q_{u-y}) \wedge (p_{u-x} \geq q_{l-x})$ |
| southwest(p, q) | $(p_{u-y} \geq q_{l-y}) \wedge (p_{u-x} \geq q_{l-x})$ |

표 2. 방향 관계의 정의

규칙 2: 방향 관계 이행 규칙

위상 관계와 마찬가지로 객체 X와 Y, Y와 Z, 그리고 X와 Z의 방향 관계를 R_1, R_2, R_3 라고 할 때, 세 객체 X, Y, Z는 다음의 관계를 갖는다

$$(X R_1 Y) \wedge (Y R_2 Z) \rightarrow (X R_3 Z)$$

표 3은 방향 관계 R_1, R_2 가 주어질 때 방향 관계 R_3 를 구하기 위한 이행 규칙 테이블을 나타낸 것이다.

| Y R ₂ Z | n | s | w | e | nw | ne | sw | se |
|--------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|----|--------|
| X R ₁ Y | n | s | w | e | nw | ne | sw | se |
| n(north) | n | {n, s} | nw | ne | nw | ne | w | e |
| s(south) | {n, s} | s | sw | se | w | e | sw | se |
| w(west) | nw | sw | w | {w, e} | nw | n | sw | s |
| e(east) | ne | se | {w, e} | e | n | ne | s | se |
| nw(northwest) | nw | w | nw | n | nw | n | w | {w, e} |
| ne(northeast) | ne | e | ne | n | ne | n | ne | {n, s} |
| sw(southwest) | w | sw | sw | s | w | {n, s} | sw | s |
| se(southeast) | e | se | s | se | {w, e} | e | s | se |

표 3 방향 관계의 이행 규칙 테이블

4. 위상-방향 관계의 추론

위상 및 방향 관계가 서로 결합된 이질 공간 관계에서의 추론도 가능하다 이것은 위상 관계나 방향 관계의 추론만으로는 불가능하며 위상-방향 관계를 결합한 추론 규칙을 적용해야 가능하다. 다음의 규칙들은 위상-방향 관계를 결합했을 때의 추론을 나타낸다.

규칙 3: 위상 관계 overlap과 방향 관계 east, west, south, north의 결합

위상 관계 overlap과 4 방향의 관계를 보여준다 예를 들면, 그림 3

에서와 같이 4개의 공간 객체 W, X, Y, Z의 공간 관계가 W는 X의 west, X는 Y와 overlap, Y는 Z와 west 관계라면 W와 Z의 공간 관계는 west가 된다.

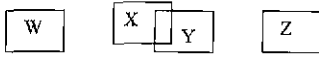


그림 3. 위상-방향 관계가 결합된 이질 공간 관계의 추론

- $(W \text{ cast } X) \wedge (X \text{ overlap } Y) \wedge (Y \text{ east } Z) \rightarrow (W \text{ east } Z)$
- $(W \text{ west } X) \wedge (X \text{ overlap } Y) \wedge (Y \text{ west } Z) \rightarrow (W \text{ west } Z)$
- $(W \text{ south } X) \wedge (X \text{ overlap } Y) \wedge (Y \text{ south } Z) \rightarrow (W \text{ south } Z)$
- $(W \text{ north } X) \wedge (X \text{ overlap } Y) \wedge (Y \text{ north } Z) \rightarrow (W \text{ north } Z)$

규칙 4: 위상 관계 meet와 방향 관계 east, west, south, north의 결합

이 규칙은 위상 관계 meet와 4 방위와의 관계를 나타낸다.

- $(W \text{ east } X) \wedge (X \text{ meets } Y) \wedge (Y \text{ east } Z) \rightarrow (W \text{ east } Z)$
- $(W \text{ west } X) \wedge (X \text{ meets } Y) \wedge (Y \text{ west } Z) \rightarrow (W \text{ west } Z)$
- $(W \text{ south } X) \wedge (X \text{ meets } Y) \wedge (Y \text{ south } Z) \rightarrow (W \text{ south } Z)$
- $(W \text{ north } X) \wedge (X \text{ meets } Y) \wedge (Y \text{ north } Z) \rightarrow (W \text{ north } Z)$

규칙 5: 위상 관계 contains, properly-contains와 4 방위와의 관계

이 규칙은 위상 관계 contains, properly-contains와 4 방위와의 관계를 나타낸다.

- $(Y \text{ contains } X) \wedge (Y \text{ east } Z) \rightarrow (X \text{ east } Z)$
- $(Y \text{ contains } X) \wedge (Y \text{ west } Z) \rightarrow (X \text{ west } Z)$
- $(Y \text{ contains } X) \wedge (Y \text{ south } Z) \rightarrow (X \text{ south } Z)$
- $(Y \text{ contains } X) \wedge (Y \text{ north } Z) \rightarrow (X \text{ north } Z)$
- $(Y \text{ properly-contains } X) \wedge (Y \text{ east } Z) \rightarrow (X \text{ east } Z)$
- $(Y \text{ properly-contains } X) \wedge (Y \text{ west } Z) \rightarrow (X \text{ west } Z)$
- $(Y \text{ properly-contains } X) \wedge (Y \text{ south } Z) \rightarrow (X \text{ south } Z)$
- $(Y \text{ properly-contains } X) \wedge (Y \text{ north } Z) \rightarrow (X \text{ north } Z)$

5. 예 제

위상-방향 관계가 결합되었을 때 추론을 보여주기 위해서 여기서는 그림 4와 같은 이미지 예제를 고려해 보자. 공간 객체는 각 건물로서 운동장(S1), 체육관(S2), 자연대학(S3), 도서관(S4), 공과대학(S5), 학생회관(S6), 식당(S7)이라고 하고, 이미지로부터 다음과 같은 공간 관계가 주어진다고 가정하자. $\{(S2 \text{ contained-in } S1), (S1 \text{ disjoint } S5), (S1 \text{ west } S3), (S1 \text{ north } S5), (S3 \text{ west } S4), (S5 \text{ west } S6), (S6 \text{ west } S7)\}$

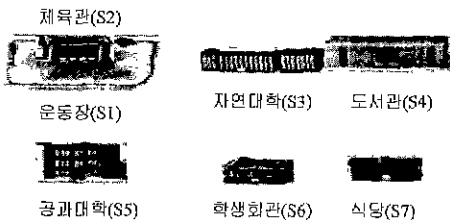


그림 4 공간 객체 정보

이러한 정보로부터 다음과 같은 새로운 공간 관계를 유도할 수 있다.

- 체육관(S2)이 운동장(S1) 안에 포함되어 있고 운동장(S1)은 공과대학

(S5)과 서로 떨어져 있는 관계에 있으므로(S2 contained-in S1 \wedge S1 disjoint S5), 체육관(S2) 역시 공과대학(S5)과 서로 떨어져 있다는 새로운 관계(S2 disjoint S5)를 규칙 1로부터 유도해낼 수 있다.

- 체육관(S2)이 운동장(S1) 안에 포함되어 있고 운동장(S1)은 공과대학(S5)의 북쪽에 위치에 있는 관계에 있으므로(S2 contained-in S1 \wedge S1 north S5), 체육관(S2) 역시 공과 대학(S5)의 북쪽에 놓여 있다는 새로운 관계(S2 north S5)를 규칙 5로부터 유도해낼 수 있다.
- 공과대학(S5)이 학생회관(S6)의 서쪽에 놓여 있고 학생 회관(S6)은 식당(S7)의 서쪽에 놓여 있는 관계에 있으므로(S5 west S6 \wedge S6 west S7), 공과대학(S5) 역시 식당(S7)의 서쪽에 놓여 있다는 새로운 관계(S5 west S7)를 규칙 2로부터 유도해낼 수 있다
- 체육관(S2)은 운동장(S1) 안에 포함되어 있고, 운동장(S1)은 자연대학(S3)의 서쪽에 놓여 있고, 자연대학(S3)은 도서관(S4)의 서쪽에 놓여 있다는 관계(S2 contained-in S1 \wedge S1 west S3 \wedge S3 west S4)에서 체육관(S2)과 도서관(S4) 사이의 관계를 유도하는 데는 두 단계를 거쳐 관계 된다. 먼저 (S2 contained-in S1 \wedge S1 west S3) 관계는 규칙 5로부터 (S2 west S3)를 먼저 유도해낼 수 있고, 여기서 나온 결과를 이용해 (S2 west S3 \wedge S3 west S4) 관계로부터 체육관(S2)이 도서관(S4)의 서쪽에 놓여 있다는 새로운 관계(S2 west S4)를 규칙 2로부터 유도해낼 수 있다.

위에서 유도한 관계는 모든 관계를 유도한 것이 아니고 일부임으로, 다른 공간 관계도 주어진 관계로부터 유도할 수 있다.

6. 결 론

본 논문에서는 위상 관계와 방향 관계에 대한 공간 객체의 추론을 제시하였다. 위상 관계는 Egenhofer[3]의 8개의 관계에 기초를 두었고 방향 관계는 방위를 나타내는 8가지의 방향에 대한 관계를 다루었다. 본 논문의 주요 기여는 공간 관계가 주어졌을 때 이로부터 새로운 공간 관계를 추론하는 것을 보여주었고 또한 위상 관계와 방향 관계와 결합된 이질 공간 관계에 대해서 추론할 수 있는 가능한 관계를 제시하였다. 여기서는 방향 관계로 방위를 나타내는 8가지 관계를 다루었지만, 위치를 나타내는 방향 관계(above, below, right, left) 등도 마찬가지로 적용 가능하다.

본 논문에서는 2차원에 국한된 방향 관계를 다루었지만 3차원으로 확장하여 이와 관련된 방향 관계 (예를 들면, m-front-of, behind 등)에 적용할 수도 있다. 향후 과제는 본 논문에서 제시한 추론 규칙을 실제 비디오나 이미지 데이터베이스에 적용할 수 있도록 추론 규칙 시스템을 데이터베이스 시스템에 통합시키는 작업이다.

참 고 문 헌

- [1] Y Theodoridis, D. Papadias, E. Stefanakis, "Supporting Direction Relations in Spatial Database Systems," Proc of 7th Intl Symposium on Spatial Data Handling, SDH'96, Netherlands, August 1996
- [2] Y. Theodoridis, D Papadias, "Range Queries Involving Spatial Relations A Performance Analysis," Proc. of 2nd Intl Conf on Spatial Information Theory, COSIT'95, Vienna, September 1995
- [3] Egenhofer, M, "A Formal Definition of Binary Topological Relationships," Proc of the Second Symposium on Large Spatial Databases, SSD'91, Zurich, 1991
- [4] Papadias, D, Y. Theodoridis, T. Sellis, and M. J. Egenhofer, "Topological Relations in the World of Minimum Bounding Rectangles: A Study with R-trees," Proc ACM SIGMOD Intl Conf. on Management of Data, pp92-103, San Jose, California, May 1995
- [5] 문현수, 정환규, "GIS에서 위상 관계의 유도 및 일관성 검사," 한국정보과학회 '98 봄 학술 발표 논문집, 1998