

시공간 데이터 모델에서 시공간 연산자의 관계 수식적 정형의미

조 영 소[†] · 김 동 호^{††} · 류 근 호^{†††}

요 약

기존의 공간 데이터베이스는 오직 현재 시점에서 유효한 정보만을 대상으로 처리하기 때문에 과거로부터 현재에 이르기 까지 시간의 흐름에 따른 이력 정보를 효율적으로 관리하기 어려운 문제점이 있다. 최근에는 이를 해결하기 위한 관심이 고조되고 있으며, 이를 통해 현실 세계에 존재하는 객체에 대하여 효율적인 공간 관리뿐만 아니라 시간의 흐름에 따라 변화해 온 이력 정보를 제공하는 시공간 데이터베이스 연구가 시작되고 있다. 이러한 시공간 데이터베이스는 다양한 응용 분야에 적용된다.

데이터베이스에서 정형의미는 데이터 구조와 연산에 대한 명확한 결과를 표현하고 이를 수학적으로 검증하기 위한 도구로서 사용된다. 아울러 시공간 정형의미는 시공간 데이터베이스와 시공간 데이터베이스 관리 시스템을 설계하기 위한 중요한 역할을 수행한다. 따라서 이 논문에서는 시공간 영역과 객체 및 자료 구조는 물론 시공간 기하 연산자와 위상 연산자를 제한한다. 또한 이들을 포함하는 시공간 모델에 대한 정형의미를 통해서 관계 수식을 정립하고 그 연산식을 실제적인 예로서 보인다.

Formal Semantics of Relational Algebra/Calculus for Spatiotemporal Operator in Spatiotemporal Data Model

Young-So Cho[†] · Dong-Ho Kim^{††} · Keun-Ho Ryu^{†††}

ABSTRACT

Because conventional spatial databases process the spatial information that is valid at current time, it is difficult to manage historical information efficiently which has been changed from the past to current. Recently, there are rapid increasing of interest to solve this problem so that makes databases to support historical information as well as spatial management at the same time. It can be eventually used in a various application areas.

The formal semantics in a database is used to represent database structures and operations in order to prove the correctness of them in terms of mathematics. It also plays an important role in database to design a database and database management system. So in this paper, we suggest spatiotemporal domain, object, data, and spatiotemporal geometric/topological operations. And we not only formalize relational algebra/calculus using formal semantics for a spatiotemporal data model, but also show the example of real world with them.

※ 이 연구는 한국과학재단 핵심전문연구(과제번호 : 971-0902-015 2)와 정보통신부 대학기초연구(과제번호 : 96132-112-12)에 의해 수행되었음.

† 정 회 원 : 한국전자통신연구원 책임연구원

†† 준 회 원 : 충북대학교 대학원 전자계산학과

††† 종신회원 : 충북대학교 컴퓨터학과 교수

논문접수 : 1998년 7월 28일, 심사완료 : 1998년 10월 26일

1. 서론

시공간 데이터베이스(spatiotemporal databases)는 현실 세계에 존재하는 다양하고 복잡한 객체에 대하여 효율적인 공간 정보(spatial informations)를 제공할 뿐만 아니라 시간의 흐름에 따라 변화하는 이력 정보(historical informations)를 동시에 효율적으로 관리할 수 있는 지리 정보 시스템(geographic information system), 도시 계획 시스템(urban plan system), 환경 관리 시스템(environment management system), 자동차 주행 시스템(car navigation system) 등과 같이 광범위한 응용 분야에서 사용될 수 있다[6, 13].

이러한 시공간 데이터베이스 연구와 관련되어 지난 30년간 시간지원 데이터베이스(temporal databases)[18] 및 공간 데이터베이스(spatial databases)[4]의 많은 연구가 수행되었다. 그러나 이들 연구는 서로를 고려하지 않고 독립적인 영역으로서만 진행되었기 때문에 이 둘을 직접적으로 시공간 데이터베이스에 적용하기 어려운 문제점을 갖는다. 최근에는 시공간 데이터베이스에 관한 관심이 증가하면서 주로 선진국을 중심으로 기초 연구[3, 10, 15, 19]들이 수행되었다.

하지만 객체에 대한 효율적인 이력 관리와 공간 정보를 완전하게 제공하기에는 아직은 미비한 실정이다. 특히 기존의 데이터베이스와 공간 데이터베이스 및 시간지원 데이터베이스에서 정의된 데이터 타입과 연산을 명확하게 포함하는 효율적인 시공간 데이터베이스 모델을 위해서는 시공간 객체에 대한 데이터베이스 구조와 연산을 수학적으로 표현하기 위한 방안이 요구된다. 기존의 관계형 데이터베이스에서도 관계 대수와 해석을 통해 데이터베이스 구조와 질의 표현 및 연산 결과를 효율적으로 표현할 수 있었다. 따라서 이 논문에서는 객체에 대한 효율적인 공간 정보의 표현과 이력 관리를 제공하기 위하여 기존의 관계 대수와 해석을 확장한 시공간 정형 의미를 표현하는 관계 수식을 정립하고 그 연산식을 보인다. 여기서 정립된 확장 관계 수식을 통하여 시공간 영역과 객체, 자료 및 시공간 기하 연산자와 위상 연산자를 제안하고 시공간 데이터베이스에서 적용할 수 있음을 보인다.

효율적인 논문 전개를 위해 다음과 같이 구성하였다. 먼저 2장에서는 시공간 데이터베이스의 관련 연구들을 정리하고, 3장에서는 선형 삼차원 시공간 데이터 모델에 대하여 설명한다. 그리고 4장에서는 정형 의미

를 통하여 시공간 데이터 모델에서 사용되는 시공간 영역과 객체, 자료, 연산, 상수 및 타임스탬핑 등의 요소들을 표현하고, 이를 기반으로 간단한 예를 통해 제안된 정형의미 표현의 의미를 보인다. 마지막으로 5장에서는 이 논문의 결론 및 앞으로 수행될 연구방향에 대하여 설명한다.

2. 관련 연구

지금까지 시공간 데이터베이스 연구 분야에서는 시간지원 데이터베이스와 공간 데이터베이스에 관련된 연구 조사[1], 시공간 데이터베이스 모델링[6, 10, 15, 19] 및 시공간 관계 연산자[13], 시공간 프로세스 연산[3] 등이 연구되었다. 대표적인 개념적인 시공간 데이터베이스 모델링 연구에는 시간 분할 스냅 모델(time slice snapshot model), 기본 상태와 개정 모델(base state with amendments model), 공간-시간 복합 모델(space-time composite model), 그리고 Tempest 삼원 모델(tempest triad model)[10, 14] 등이 있다.

시간 분할 스냅 모델에서는 객체들에 대한 공간정보들에 발생한 변화를 레이어 혹은 시트와 같은 일정한 공간 단위로 시간의 흐름에 따라 발생하는 변화에 대하여 스냅 단위로 관리한다. 하지만 개별적인 스냅(snapshot)은 해당 시점의 정보만을 가지며 이전 스냅과의 변경은 직접적으로 표현하지 못하기 때문에 스냅간 변화는 두 스냅을 모두 비교하여야만 하는 문제점을 가진다. 이외에도 사건이 발생할 때마다 스냅 전체를 저장하기 때문에 심각한 중복저장의 문제점도 내포하고 있다. 이러한 문제에 대하여 기본 상태와 개정 모델은 기본적인 공간 단위로 변화가 발생한 경우 해당 변경 사항만을 새로운 레이어 혹은 시트에 반영함으로써 시간 분할 스냅 모델의 문제점을 다소 감소시켰지만, 완전한 스냅정보는 항상 기본 스냅으로부터 현재 스냅까지의 차분을 계산하여야만 하는 문제점을 갖는다. 공간-시간 복합 모델은 하나의 스냅상에 모든 공간 객체의 변화에 대한 이력 정보를 반영하고 해당 변화들을 별도로 관리하여 이를 해석하는 기법을 사용한다. 따라서 시간 분할 스냅 모델과 기본 상태와 개정 모델에서 가진 현재 스냅에 대한 정보 관리와 저장 공간 관점에서 상당한 장점을 갖지만, 객체의 공간 정보에 대한 비공간 정보를 중심으로 이력 관리가 이루어지므로 공간 정보 자체에 대한 이력 관리가 어려운

단점을 갖는다. Tempest 삼원 모델은 공간상의 객체 기반 모델(OBJECT model), 위치 기반 모델(LOCEST model) 및 사건기반 모델(ESTDM model)로 구성된다. 객체 기반 모델은 공간 객체의 이력, 시간 및 공간 관계자, 레이어 정보 등과 같은 특성들 관리하며, 위치 기반 모델은 공간 객체의 공간 위치 속성을 관리한다. 지리 정보에서 가능한 변화에는 비공간 속성, 위치 속성, 그리고 공간 관계 또는 위상 정보를 포함하며 매우 다양하다. 특히 사건 기반 모델은 객체 기반 모델에서 관리되는 객체에 발생하는 임의의 사건을 기록함으로써 데이터베이스의 모든 변화를 관리한다.

이외에도 Worboys 연구[19]에서는 2차원 공간과 2차원 시간 영역을 기반으로 도로 건설과 토지 변경 등과 같은 다양한 시공간 응용분야에서 시공간 데이터베이스의 작용을 소개하고 이를 데이터베이스에서 처리하기 위한 시공간 모델과 연산을 정의하였다. 그리고 Claramunt 연구[3]에서는 시간의 흐름에 따라 공간상의 객체의 변화를 반영하는 시공간 프로세스를 분류하였다. 이러한 분류에는 크게 단일 엔티티(entity)의 변화와 엔티티간의 변화로 세분화된다. 아울러 generate, produce, transmit, replacedby, reproduce 등과 같은 다섯 가지 시공간 연산을 제안하였다.

지금까지 설명한 바와 같이 시공간 데이터베이스 분야에서 지금까지 수행된 대부분의 연구들은 공간 객체에 대한 이력을 기반으로 하는 추상적인 시공간 현상만을 제안하였다. 결국 시공간 객체를 데이터베이스에 효율적으로 저장하기 위해서는 명확한 시공간 데이터 모델에 대한 관계 수식, 즉 관계 대수와 관계 해석의 정립이 요구된다. 일반적으로 정형 의미(formal semantics)는 데이터베이스에서 데이터 구조와 연산의 결과를 표현하고 데이터베이스 연산의 수행을 검증하는 도구로 사용된다. 따라서 이 논문에서는 기존의 정형 의미에 시공간 개념을 추가한 시공간 정형 의미를 정립하고 관계 수식을 표현함으로써 관계 대수와 관계 해석식으로 전개됨을 보인다. 아울러 시공간 영역에서 실제 적용됨을 예로서 보인다.

3. 시공간 데이터 모델

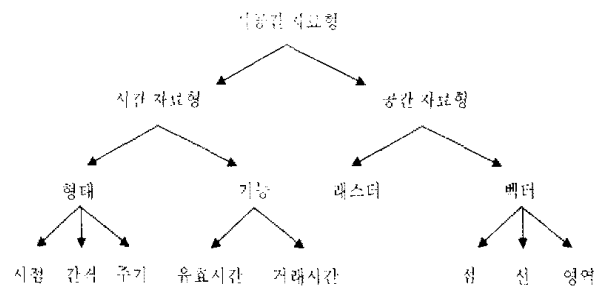
현실 세계에 존재하는 대부분의 객체는 기존의 데이터베이스에서 취급해온 일반적인 정보와 함께 이차원 공간 영역상의 위치 정보 및 해당 객체가 유효한

시간에 대한 정보가 구성되는 삼차원 시공간 형태로도 표현된다. 이때 객체에 대한 유효 시간(valid time)[16]은 현실 세계에서 사용되는 시간 영역상의 임의의 값으로 사용자에게 의해 결정되며, 해당 객체의 공간 정보가 현실 세계에서 유효한 사건(event) 또는 간격(interval 또는 period)으로 표현된다. 다시 말하면, 현실 세계에 존재하는 시공간 객체는 유효 시간과 공간 영역상의 공간 좌표들로 구성된 삼차원 구조를 가지며, 이러한 구조를 통해 시간의 흐름에 따른 공간 정보의 변화를 추적하거나 혹은 임의의 시간 조건을 만족하는 공간 정보를 검색하는 기능을 갖는다.

그러나 삼차원 구조를 갖는 시공간 객체를 데이터베이스에 효율적으로 저장하고 완전한 이력 관리를 보장하기 위해서는 거래 시간(transaction time)[17]이라는 부가적인 시간 영역이 사용되며, 거래 시간 영역상의 임의의 값에 대하여 삼차원 시공간 객체로 사상은 선형 삼차원 시공간 구조가 형성된다. 즉, 이원시간을 지원하는 삼차원 시공간 영역(3 dimensional spatiotemporal domain supporting bitemporal concepts) λ 는 (식 1)과 같이 일차원 거래 시간 영역(TT)을 기반으로 일차원 유효 시간 영역(VT)과 이차원 공간 좌표(x, y)로 구성되는 공간 영역(S)을 내용으로 하는 일련의 삼차원 시공간 영역들의 집합으로 정의된다.

$$\lambda = \{TT, \{VT, (x, y)\}\} \quad (\text{식 1})$$

또한 객체에 대하여 공간 정보와 이력 정보를 다루는 시공간 질의의 유형은 연산 대상의 자료형에 의해 결정되는데, 시공간 자료형에는 일반 자료형, 유효 시간 자료형, 거래 시간 자료형, 래스터 자료형 및 벡터 자료형 등이 있다. 유효 시간 자료형은 시점과 간격으로 세분화되며, 거래 시간 자료형은 오직 간격의 형태만을 갖는다. 또한 벡터 자료형은 점, 선, 그리고 영역



(그림 1) 시공간 자료 유형
(Fig. 1) Spatiotemporal Data Type

으로 세분화되는데, 이들에 대하여 기하 연산과 위상 관계 연산이 데이터베이스 연산에서 포함되어 사용된다. 시공간 영역에 존재하는 시공간 객체는 그림 1과 같이 객체를 가리키는 유일한 식별자와 함께 일반 정보, 공간 정보, 그리고 이력 정보로 구성된다. 시공간 객체를 구성하는 요소들에 대한 자료 구조로서 공간 정보는 점(point), 선(line), 다각형(polygon)과 같은 벡터 정보(vector information)와 그림 및 사진과 같은 래스터 정보(raster information)로 구분되며, 시간 정보는 시점 또는 간격의 형식적인 구분과 유효 시간과 거래 시간 등의 기능적인 관점에서 분류된다.

아울러 시공간 영역에서 정의되는 시공간 연산에는 표 1과 같이 시공간 관계형 연산(spatiotemporal relational operation), 시공간 위상 관계 연산(spatiotemporal topological relationship operation), 그리고 시공간 기하 연산(spatiotemporal geometric operation) 등으로 분류된다. 시공간 관계 연산은 데이터베이스에 저장된 객체에 대한 선정(selection), 추출(projection) 및 조인(join) 등의 연산을 의미한다. 시공간 객체 선정 연산은 단일의 공간 좌표, 거래 시간, 그리고 유효 시간 값으로 구성된 조건 또는 이들로 구성된 복합 조건을 만족하는 임의의 객체에 대하여 일반 정보, 공간 정보 및 유효 시간 값으로 구성되는 정보를 반환한다.

즉, 모든 시공간 객체는 각각 구별되는 식별자를 갖는데, 이를 구별하기 위한 조건으로 공간 좌표와 거래 시간, 그리고 유효 시간이 조건으로 사용되며, 각각의 조합에 따라 공간 좌표 값에 의한 시공간 객체의 선정, 유효 시간과 공간 좌표에 의한 시공간 객체의 선정, 거래 시간과 공간 좌표 값에 의한 시공간 객체의 선정, 그리고 공간 좌표와 거래 시간 및 유효 시간에 의한 시공간 객체의 선정등 세부적인 연산으로 구분된다. 그리고 시공간 속성 추출 연산은 시공간 객체 선

정 연산에 의해 반환되는 속성에 대한 연산을 의미한다. 일반 정보는 단일 속성에 의해 표현되며, 공간 정보는 최소 네 개의 공간 좌표로 구성된 복합 속성에 의해 표현된다. 또한 유효 시간 정보는 시작 시간과 종료 시간으로 구성된 간격 형태로 표현되는데, 시점과 같은 유효 시간 값은 시작 시간과 종료 시간이 동일한 값으로 표현된다.

4. 시공간 정형 의미

정형 의미(formal semantics)는 관계형 데이터 모델에서 관계 해석(relational calculus)을 통해 관계 연산(relational operation)과 일대일로 사상되는 관계대수(relational algebra)의 수행 결과를 명확하게 보여주고 그 결과에 대한 정확도를 검증하는 도구로 사용된다. 이 절에서는 이러한 정형의미를 사용하여 시공간 영역과 시공간 객체 및 시공간 상수를 표현하고, 간단한 예를 통해 의미를 표현한다.

4.1 시공간 영역과 객체

3장의 (식 1)에서 정의된 선형 삼차원 시공간 영역에 대하여 아래의 (식 2)와 같이 관계 해석을 사용하여 표현할 수 있다. (식 2)의 첫 번째 줄에서는 2차원의 공간 영역과 2차원의 시간 영역으로 구성됨을 보여 주며, 세 번째 줄에서는 거래 시간 요소에 의해 유효 시간과 2차원의 공간 좌표 값으로 구성된 3차원 영역을 결정함을 의미한다. 즉, 과거에 유효했던 시공간 객체는 거래시간에 의해 3차원의 스넵으로 결정됨을 의미한다.

$$D^{ST} = \{ D^{(S+VT+TT)} \mid \exists i, 1 \leq i \leq \infty \wedge \exists t_i \in D^{TT}, \exists v_i \in D^{VT}, \exists x_i, y_i \in D^S \wedge t_i \rightarrow (v_i \times (x_i, y_i))^+ \}$$

(식 2)

<표 1> 시공간 연산의 분류
<Table 1> Classification of Spatiotemporal Operations

	시공간 관계형 연산	시공간 위상 관계 연산	시공간 기하 연산
시간연산	select, project, join, cartesian product, divisor	precede, overlap, equal, rollback	overlap, extend
공간연산		contains, equal, overlap, touch, left, right, up, down	direction, distance, length, center, expand

(식 3)에서는 시공간 영역에서 정의되는 시공간 객체에 대한 정형 의미 표현을 보여준다. (식 3)에서 보여진 바와 같이 시공간 객체(O^{ST})는 시간 속성, 그리고 일반 속성들로 구성된다. 두 번째 줄에서 a_i 는 일반 속성을 가리키며, s_j 와 v_k 및 t_k 는 각각 공간 영역 내에서 정의되는 공간 속성과 시간 영역내의 유효 시간 속성과 거래 시간 속성을 가리킨다. 시공간 객체

을 구성하는 속성 중에서 세 번째 줄과 네 번째 줄의 $u[1]$ 부터 $u[i]$ 까지는 일반 속성 값이 저장되며, 다섯 번째 줄과 여섯 번째 줄의 $u[i+1]$ 에서 $u[i+j]$ 까지는 공간 속성 값이 할당된다. 그리고 일곱 번째 줄의 $u[i+j+1]$ 과 여덟 번째 줄의 $u[i+j+2]$ 에는 각각 유효 시작 시간과 유효 종료 시간이 저장된다. 아홉 번째 줄의 $u[i+j+3]$ 과 열 번째 줄의 $u[i+j+4]$ 에는 각각 거래 시작 시간과 거래 종료 시간이 저장된다. 그리고 열 한 번 째 줄과 열 두 번째 줄은 각각 유효 시간 값과 거래 시간 값에 대한 기본적인 제약 사항을 표현하고 있다.

$$O^{ST} = \{u^{(i+j+1)} \mid \exists i, j, k, 0 \leq i, j, k \leq \infty \wedge \exists a_s \in D^R, \exists s_j \in D^S, \exists v_k, t_k \in D^T \wedge u[1] = O.a_1 \wedge u[2] = O.a_2 \wedge \dots \wedge u[i-1] = O.a_{i-1} \wedge u[i] = O.a_i \wedge u[i+1] = O.s_1 \wedge u[i+2] = O.s_2 \wedge \dots \wedge u[i+j-1] = O.s_{j-1} \wedge u[i+j] = O.s_j \wedge u[i+j+1] = O.v_{k_{min}} \wedge u[i+j+2] = O.v_k \wedge u[i+j+3] = O.t_{k_{min}} \wedge u[i+j+4] = O.t_{k_{max}} \wedge u[i+j+1] \leq u[i+j+2] \wedge u[i+j+3] \leq u[i+j+4]\}$$

(식 3)

4.2 시공간 자료

그림 1에서 보여진 바와 같이 시공간 데이터베이스에서 사용되는 시간 자료형에는 시점, 간격, 주기와 같이 형태적인 분류와 유효시간과 거래시간과 같이 기능적인 분류로 구분할 수 있다. 이 가운데에서 시간 자료형에 대한 형태적인 분류에는 datetime, interval, 그리고 period 등이 정의된다[21]. datetime 자료형은 주어진 시간 단위(time granularity)내에서 정의되는 한 시점을 의미하고, interval 자료형은 시작시점과 종료시점을 갖지 않는 추상적인 시간길이를 의미하는 시간간격을 가리키며, period 자료형은 시작 시점과 종료 시점으로 구성되는 구체적인 시간 순서쌍을 가리킨다. 이들 기본적인 시간 자료형은 유효시간 및 거래시간에 모두 적용된다.

아울러 공간 자료형에는 기하학적 자료형과 위상관계형 자료형이 있다. 기하학적 자료형은 다시 점, 선, 영역과 같은 벡터형과 이미지와 같은 래스터형으로 세분화된다. 위상관계형 자료형은 공간 객체간의 공간관계를 표현하며 대량의 저장공간이 요구되기 때문에 일반적으로 해당 공간객체들로부터 계산된다. (식 4)와

식 5)는 시공간 자료형에 대한 용어 의미 표현이다. 특히 (식 5)는 공간 자료형 중에서 벡터 자료형에 한정된 표현이며, 부가적으로 이미지와 같은 래스터 자료형이 존재한다.

$$data_{TYPE}^{TEMPORAL} = \begin{cases} DATETIME : \exists TS \in D^T \wedge [TS] \\ INTERVAL : \exists i, 0 \leq i \leq \infty \wedge \pm [i \text{ granularity}] \\ \quad \{year, month, day, \dots\} \in granularity \subset D^T \\ PERIOD : \exists TS_i, TS_j \in D^T \wedge [TS_i - TS_j] \end{cases}$$

(식 4)

$$data_{TYPE}^{SPATIAL} = \begin{cases} POINT(P) : (x, y) \\ LINE(L) : \{(x_s, y_s), (x_e, y_e)\} \\ POLYGON(A) : \{l_1, l_2, \dots, l_n\} \text{ 또는 } \\ \quad \{(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)\} \end{cases}$$

(식 5)

4.3 시공간 연산

시공간 연산(spatiotemporal operation)에는 시공간 관계형 연산, 시공간 위상 관계 연산, 그리고 시공간 기하 연산으로 구분할 수 있다. 시공간 관계형 연산은 데이터베이스에 저장된 시공간 객체를 선정(selection)하거나 객체로부터 임의의 속성을 추출(projection)하거나 객체간 결합(union), 교차(intersection), 차분(difference), 카테시안 곱(cartesian product), 조인(join) 및 제산(division) 연산을 수행한다. (식 6)과 (식 7)에서는 시공간 선정 연산(spatiotemporal select operation)과 시공간 추출 연산(spatiotemporal project operation)에 대하여 정형의미로 표현하였으며, 관계형 데이터 모델을 기반으로 함을 가정한다.

(식 6)의 시공간 선정 연산은 주어진 테이블(R)로부터 시공간 조건을 만족하는 튜플(r) 집합을 반환하는데, 3번째 줄은 결과 튜플들의 j번째 속성과 j번째 속성, 그리고 k번째 속성은 각각 일반조건(P), 공간조건(S), 그리고 시간조건(T)을 만족함을 의미한다. 그리고 (식 7)에서는 선정된 객체로부터 출력을 위한 속성들을 추출하는 세부과정을 보여주는데, 2번째 줄은 지정된 일반 속성 리스트를 의미하며 3번째 줄에서 4번째 줄은 지정된 공간 속성 리스트를 의미한다. 그리고 6번째 줄은 유효시간 속성을 의미한다.

$$\sigma_{(P,S,T)}^{ST}(R) = \{u^m \mid \exists i, j, k \wedge 0 \leq i, j, k \leq \infty \wedge r \in R \wedge u[i] \approx P \wedge u[j] \approx S \wedge u[k] \approx T\}$$

(식 6)

$$\begin{aligned}
 & \text{equal}^{\text{TEMPORAL}}(O_i, O_j) = \\
 & \left\{ \begin{array}{l} \text{True} : \text{before}(O_i.v_{\text{from}}, O_i.v_{\text{to}}) \wedge \\ \text{before}(O_j.v_{\text{from}}, O_i.v_{\text{from}}) \wedge \\ \text{before}(O_i.v_{\text{to}}, O_j.v_{\text{to}}) \wedge \\ \text{before}(O_j.v_{\text{to}}, O_i.v_{\text{to}}) \\ \text{False} : \text{otherwise} \end{array} \right. \quad (\text{식 13})
 \end{aligned}$$

시공간 위상 관계 연산은 주어진 객체들에 대하여 시간 영역과 공간 영역상의 관계에 대하여 참/거짓을 반환한다. 시간 영역상의 객체간 관계는 객체가 가진 유효 시간 값을 기준으로 평가되며, 공간 영역상의 객체간 관계는 객체의 공간 좌표 값에 의해 결정된다. 대표적인 시공간 위상 관계 연산으로 공간 위상 관계 연산 중에서 일부 연산을 (식 8)에서부터 (식 10)까지 표현하였다. 그리고 시간 관계 연산에는 precede(), overlap(), equal()등이 있으며, (식 11)에서부터 (식 13)까지 표현하였다. 그리고 거래시간을 위한 연산에는 (식 14)에서 표현된 바와 같이 주어진 테이블에 저장된 튜플의 거래시간을 대상으로 처리하는 rollback()이 있다.

$$\begin{aligned}
 & \text{contains}^{\text{SPATIAL}}(O_i, O_j) = \\
 & \left\{ \begin{array}{l} \text{True} : ((\text{boundary}(O_i) \cap \text{boundary}(O_j) = \emptyset) \wedge \\ (\text{boundary}(O_i) \cap \text{interior}(O_j) = \emptyset) \wedge \\ (\text{interior}(O_i) \cap \text{boundary}(O_j) \neq \emptyset) \wedge \\ (\text{interior}(O_i) \cap \text{interior}(O_j) \neq \emptyset)) \\ \text{False} : \text{Otherwise} \end{array} \right. \quad (\text{식 8})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & \text{equal}^{\text{SPATIAL}}(O_i, O_j) = \\
 & \left\{ \begin{array}{l} \text{True} : ((\text{boundary}(O_i) \cap \text{boundary}(O_j) \neq \emptyset) \wedge \\ (\text{boundary}(O_i) \cap \text{interior}(O_j) = \emptyset) \wedge \\ (\text{interior}(O_i) \cap \text{boundary}(O_j) = \emptyset) \wedge \\ (\text{interior}(O_i) \cap \text{interior}(O_j) \neq \emptyset)) \\ \text{False} : \text{Otherwise} \end{array} \right. \quad (\text{식 9})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & \text{intersect}^{\text{SPATIAL}}(O_i, O_j) = \\
 & \left\{ \begin{array}{l} \text{True} : 1 \leq i, j, k \leq \infty, \exists (x_k, y_k) \in D^S \wedge \\ (x_k, y_k) \in O_i \wedge (x_k, y_k) \in O_j \\ \text{False} : \text{otherwise} \end{array} \right. \quad (\text{식 10})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & \text{precede}^{\text{TEMPORAL}}(O_i, O_j) = \\
 & \left\{ \begin{array}{l} \text{True} : \text{before}(O_i.v_{\text{to}}, O_j.v_{\text{from}}) \\ \text{False} : \text{otherwise} \end{array} \right. \quad (\text{식 11})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & \text{overlap}^{\text{TEMPORAL}}(O_i, O_j) = \\
 & \left\{ \begin{array}{l} \text{True} : (\text{before}(O_i.v_{\text{from}}, O_j.v_{\text{to}}) \wedge \\ \text{before}(O_j.v_{\text{from}}, O_i.v_{\text{to}})) \vee \\ (\text{before}(O_j.v_{\text{from}}, O_i.v_{\text{to}}) \wedge \\ \text{before}(O_i.v_{\text{from}}, O_j.v_{\text{to}})) \\ \text{False} : \text{otherwise} \end{array} \right. \quad (\text{식 12})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & \text{rollback}^{\text{TEMPORAL}}(O_i, TT) = \\
 & \left\{ \begin{array}{l} \text{True} : \text{before}(TT_{\text{start}}, O_i.t_{\text{start}}) \wedge \\ \text{before}(O_i.t_{\text{end}}, TT_{\text{end}}) \\ \text{False} : \text{otherwise} \end{array} \right. \quad (\text{식 14})
 \end{aligned}$$

시공간 기하 연산은 주어진 객체 또는 객체들로부터 시간 영역과 공간 영역을 기반으로 기하학적 수치 값을 반환하거나 객체 자체의 시공간 정보를 변경하는 기능을 갖는다. 대표적인 공간 기하 연산으로 (식 15)에서 (식 17)까지 일부 연산을 표현하였으며, (식 18)에서 (식 19)까지 대표적인 시간 기하 연산을 표현하였다.

$$\begin{aligned}
 & \text{direction}^{\text{SPATIAL}}(O_i, O_j) = \\
 & \{ E, W, S, N \mid \exists x, y \in S, \\
 & \quad E : O_i.x - O_j.x > 0, \\
 & \quad W : O_i.x - O_j.x < 0, \\
 & \quad N : O_i.y - O_j.y > 0, \\
 & \quad S : O_i.y - O_j.y < 0 \\
 & \} \quad (\text{식 15})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & \text{distance}^{\text{SPATIAL}}(O_i, O_j) = \\
 & \{ \exists x, y \in S, \exists i, j, m, n, 1 \leq i, j, m, n \leq \infty \wedge \\
 & \quad \text{MIN}(|O_i.(x, y)_m - O_j.(x, y)_n|) \\
 & \} \quad (\text{식 16})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & \text{length}^{\text{SPATIAL}}(O) = \\
 & \{ \exists x, y \in S, \exists i, j, 1 \leq i, j \leq \infty \wedge \\
 & \quad \text{MAX}(O.(x, y)_i, O.(x, y)_j) \\
 & \} \quad (\text{식 17})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & \text{overlap}^{\text{TEMPORAL}}(O_i, O_j) = \\
 & \{ O_k \mid O_k.v_{\text{from}} = (\text{last}^{\text{TEMPORAL}}(O_i, O_j)).v_{\text{from}}, \\
 & \quad O_k.v_{\text{to}} = (\text{first}^{\text{TEMPORAL}}(O_i, O_j)).t_{\text{to}} \\
 & \} \quad (\text{식 18})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & \text{extend}^{\text{TEMPORAL}}(O_i, O_j) = \\
 & \{ O_k \mid O_k.t_{\text{from}} = (\text{first}^{\text{TEMPORAL}}(O_i, O_j)).t_{\text{from}}, \\
 & \quad O_k.t_{\text{to}} = (\text{last}^{\text{TEMPORAL}}(O_i, O_j)).t_{\text{to}} \\
 & \} \quad (\text{식 19})
 \end{aligned}$$

아울러 시간 영역과 공간 영역을 동시에 다루는 시공간 연산에는 다음의 세 가지가 있다. 시공간 변화량 (spatiotemporal variability : stvar) 연산자는 단위 시간당 공간상의 양을 가리키는데, 주어진 객체가 단위

시간 t_1 에서 v_1 의 크기를 갖고 시간 t_2 에서 v_2 의 크기를 갖는 경우 시공간 변화량은 $\delta_{v_2-v_1}/\delta_{t_2-t_1}$ 이다. 아울러 시공간 속도(spatiotemporal velocity : stvel) 연산자는 시간당 공간상의 위치변화량을 의미한다. 즉, 일반적인 시간에 따른 공간위치의 변화는 시공간 속도에 의해 km/hour와 같이 표현된다. 또한 시공간 진행 방향(spatiotemporal direction : stdir) 연산자는 시공간 속도에 방위 각도를 곱함으로써 계산된다. 이것은 시공간 속도에 방향을 표현하는 연산이다.

4.4 시공간 상수

시공간 데이터베이스에서 정의되는 시공간 상수값에는 NOW, UNTIL, CHANGED, BEGINNING과 FOREVER가 있다. 먼저 NOW는 (식 20)에서 보여진 바와 같이 유효 시간 속성에 사용되며 일반적으로 사용자 질의가 처리되는 시점의 값으로서 결정되는 '현재 시점'으로 해석되는데, (식 21)과 같이 NOBIND 연산과 함께 쓰이는 경우 특수 상수값 자체로서 사용되고 질의가 수행할 때 자동적으로 값이 결정되는 변수의 역할을 수행한다. 거래 시간의 경우에 시스템에 의해 결정되는 특징으로 인해 NOW 보다는 UNTIL, CHANGED 상수값이 사용되는데, NOW와 유사하게 객체에 변경이 발생하기까지 유효함을 의미한다.

$$BIND_{TEMPORAL}(O, NOW) = \{ O.VT \leftarrow 'CURRENT_TIMESTAMP' \} \text{ (식 20)}$$

$$NOBIND_{TEMPORAL}(O) = \{ O.VT \leftarrow 'NOW' \} \text{ (식 21)}$$

유효 시간의 경우 NOW와 함께 (식 22)와 (식 23)에서 표현된 BEGINNING 상수 값과 FOREVER 상수 값을 사용할 수 있는데, 각각은 시스템에서 사용하는 최소의 시간 값과 최대 시간 값을 의미한다.

$$BEGINNING_{TEMPORAL} = TIMESTAMP_{MIN} \text{ (식 22)}$$

$$FOREVER_{TEMPORAL} = TIMESTAMP_{MAX} \text{ (식 23)}$$

4.5 시공간 타임스탬핑

시공간 데이터베이스에 저장된 객체에 대한 임의의 변화로부터 야기되는 이력은 객체내의 타임스탬프에 의해 관리되며, 객체에 대하여 부여되는 타임스탬핑 단위는 데이터베이스의 전반적인 크기와 성능을 결정

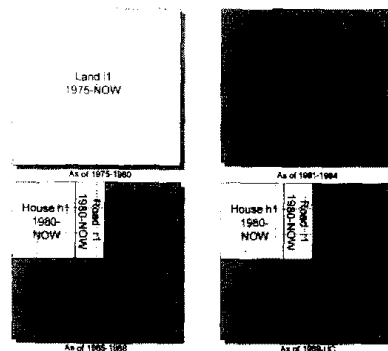
하는 중요한 요소중의 하나이다. 시공간 데이터베이스에 저장된 객체에 대한 타임스탬핑 방안에는 크게 객체 타임스탬핑(object timestamping)과 속성 타임스탬핑(attribute timestamping)과 같이 크게 두 가지로 분류할 수 있다.

먼저 객체 타임스탬핑은 클래스로부터 구체화된 객체 자체에 대하여 타임스탬핑을 부여하는 방법으로, 유효시간은 객체에 타임스탬핑에 사용되고 거래시간은 객체집합에 대한 타임스탬핑으로 사용된다. 그리고 속성 타임스탬핑은 객체를 구성하는 속성을 단위로 타임스탬프를 부여하는 방법으로서 객체에 대한 변화가 일부 속성을 위주로 집중되는 경우에 적합하지만 제1 정규형(1NF)을 만족하지 못하는 문제점을 갖는다. 결국 기존의 관계형 데이터베이스 기술을 적용하기 위해서는 속성 타임스탬핑을 적용할 경우 제1정규형을 만족하도록 해주는 내부적인 연산이 필요하다. (식 24)에서는 객체 단위 타임스탬핑에 대한 정형의미를 표현하고 있다.

$$O_{TS}^{Obj} = \{ w^{(1..n)} \mid \exists i, 1 \leq i \leq n, \exists a_i \in D^R, \exists v_i \in D^{VT}, \exists t_i \in D^{TT} \wedge w[1] = a_1 \wedge w[2] = a_2 \wedge \dots \wedge w[i] = a_i \wedge w[i+1] = v_i.from \wedge w[i+2] = v_i.to \wedge w[i+3] = t_i.start \wedge w[i+4] = t_i.end \} \text{ (식 24)}$$

4.6 시공간 데이터베이스에서 정형 의미의 적용 예

이 절에서는 제안된 시공간 정형의미를 통해 시공간 객체를 포함하는 질의에 대한 표현을 예를 들어 보인다. 그림 2(a)에서는 15년간 발생한 도시 행정 구역의 변화에 대한 이력을 표현하고 있으며, 그림 2(b)에서는 이를 관계형 모델을 기반으로 확장한 형태로 표현하고 있다.



(a) 15년간의 도시 계획 변화

건물명	건물명	종류	가격	공간좌표	유효시간	시대시간
건물-1	우리반점	음식점	5천만원	(0,50),(0,100), (30,100),(30,50)	1980 NOW	1981 UC
건물-2	구룡길	연식점	4천만원	(50,50),(50,100), (100,100),(100,50)	1985 1990	1985 1988
건물-3	연동길	변화도	3천만원	(50,50),(50,100), (90,100),(90,50)	1990 NOW	1989 UC

(b) 건물 테이블 표현

(그림 2) 15년간의 도시 계획 변화와 테이블 표현
(Fig. 2) Changes of Urban Plan and Its Table Representation for 15 years

위의 그림 2(a)의 첫 번째 스냅에서는 1975년도에 최초로 토지-1에 대한 이력이 발생하였으며, 1차 처리가 1975년도에 이루어졌음을 표현하고 있으며, 두 번째 스냅에서는 이전 이력에 대하여 1980년도에 건물-1과 도로-1이 완공되었음을 의미하고 그 처리가 1981년도에 이루어 졌음을 나타내고 있다. 또한 세 번째 스냅에서는 건물-2와 도로-2의 완공으로 인해 이전 이력이 갱신되었음을 의미하며, 네 번째 스냅에서는 도로-3에 대한 새로운 변화를 표현하고 있다. 정리하면, 세 번째 스냅과 네 번째 스냅에서 객체에 대한 유효 시간과 거래 시간은 각각 1985년(유효)-1985년(거래) 및 1990년(유효)-1989년(거래)이 된다. 특히 두 번째 스냅에서는 현실세계에 존재하는 건물-1과 도로-1의 이력 시간이 데이터베이스에서 처리된 거래 시간보다 앞선 경우이며, 네 번째 스냅에서는 반대로 현실세계에 존재하는 객체의 유효 시간보다 거래시간이 앞선 형태를 보여준다. 그리고 그림 2(b)에서 각 튜플이 갖는 거래 시간값에 대하여 UC를 포함하는 경우는 현재 시점에서 처리 대상이됨을 의미하며, 기타의 값을 갖는 경우 rollback() 연산을 통해 해당 연도로 지정되지 않는 경우 처리되지 않음을 의미한다. "면적이 100 m² 미만으로 1985년도 이전에 건설된 건축물을 출력하라"는 질의가 주어진 경우, 제안된 시공간 정형의 의미를 통한 연산 과정과 결과는 각각 (식 25)의 관계 대수와 (식 26)의 관계해석 및 그림 3의 테이블 표현과 같다.

$$\pi_{\text{건물명}}(\sigma_{\text{area(건물)} < 100m^2 \wedge \text{precede(건물, valid}_{from, 1985})}(\text{지도}))$$

(식 25)

$$\{u^{(1-j+4)} \mid \exists j, k \wedge 0 \leq j, k \leq \infty \wedge \exists s_j \in D^S, \exists v_k, t_k \in D^T \wedge u[1] = \text{지도, 건물명} \wedge u[2] = \text{지도, 건물좌표}_1 \wedge \dots u[2+j] = \text{지도, 건물좌표}_j \wedge u[2+j+1] = \text{지도, 건물, } v_k^{from} \wedge u[2+j+2] = \text{지도, 건물, } v_k^{to} \wedge u[2+j+3] = \text{지도, 건물, } t_k^{start} \wedge u[2+j+4] = \text{지도, 건물, } t_k^{end} \wedge u[2+j+1] \leq u[2+j+2] \wedge u[2+j+3] \leq u[2+j+4] \wedge u[2+j+4] > \text{bind}_{TEMPORAL}(\text{NOW}) \wedge \text{area}_{SPATIAL}(\{u[2], \dots, u[j]\}) < 100m^2 \wedge \text{precede}_{TEMPORAL}(u[2+j+1], 1985)\}$$

(식 26)

건물명	공간 좌표	유효 시간
우리반점	(0, 50), (0, 100), (30, 100), (30, 50)	1980-NOW

(그림 3) 질의 결과
(Fig. 3) Result of Query

이 논문에서는 시공간 연산을 위한 별도의 관계 대수를 정의하지 않았으며, 기존의 연산을 토대로 시공간 데이터를 처리할 수 있도록 4.3절에서 소개한 세부적인 연산만을 사용하여 확장하였다. 그림 3에서 표현된 결과에서 두 번째 튜플은 거래 시간 속성을 기준으로 평가할 때 현재시점에서 유효하지 않기 때문에 rollback() 연산에 의해 처리 대상에서 제외되며, 나머지 두 개의 튜플 중 주어진 질의의 유효 시간 조건을 만족하는 튜플은 오직 첫 번째 튜플임을 알 수 있다.

5. 결론

시공간 데이터베이스는 현실 세계에 존재하는 다양하고 복잡한 객체에 대하여 효율적인 공간 정보를 제공할 뿐만 아니라 시간의 흐름에 따라 변화하는 이력을 동시에 관리함으로써 다양한 응용 분야에서 사용될 수 있다. 이 논문에서는 객체에 대하여 공간 정보와 이력정보를 효율적으로 표현하고 처리하기 위한 시공간 데이터 모델 방안으로서 이원시간을 지원하는 삼차원 시공간 데이터 모델 표현하기 위하여 시공간 정형의 의미를 통한 시공간 영역과, 시공간 객체, 시공간 자료 및 시공간 기하 연산자와 시공간 위상 연산자를 제안하고, 이들을 관계 대수와 관계 해석으로 정형 의미를

정립하였다. 또한 실제 응용 세계에서 시공간 연산들의 정형 의미를 통하여 해석됨을 보였다. 제안된 정형 의미를 기반으로 간단한 시공간 모델에 대한 연산을 시공간 관계 대수와 시공간 관계 해석으로 표현하였다. 이 논문에서 제안된 시공간 정형의미는 시공간 데이터베이스와 시공간 데이터베이스 관리 시스템을 설계하기 위한 중요한 도구로서 사용될 수 있다. 이 논문에서 정의된 시공간 자료와 연산을 통해 객체를 데이터베이스에 쉽게 저장하고 효율적으로 조작할 수 있도록 해주는 시공간 질의 설계와 질의 처리 시스템의 설계 및 구현이 현재 수행중이다. 따라서 정형 의미를 통한 시공간 연산자들을 사용한 시공간 질의 처리 성능 향상의 실험적 검증은 향후 연구로서 진행되어야 한다.

참 고 문 헌

- [1] J. Allen, "Maintaining Knowledge about Temporal Intervals," *Communications of the ACM*, Vol.26, No.11, Nov., 1983.
- [2] K. Al-Taha, R. Snodgrass, and M. Soo, "Bibliography on Spatiotemporal Databases," *ACM SIGMOD RECORD*, Vol.22, No.1, Mar., 1993.
- [3] C. Claramunt, "Managing Time in GIS: An Event-Oriented Approach," *Proceedings of the International Workshop on Temporal Databases*, Sep., 1995.
- [4] O. Guenther, and A. Buchmann, "Research Issues in Spatial Databases," *ACM SIGMOD Record*, Vol.19, No.4, Dec., 1990.
- [5] D.H. Kim, I.H. Lee, and K.H. Ryu, "The Design and Implementation of Aggregate Functions of Temporal Databases in Main Memory," *Journal of Korea Information Science Society*, Vol.21, No.8, Aug., 1994.
- [6] D.H. Kim, K.W. Nam, and K.H. Ryu, "The Spatiotemporal Database Model," *Proceedings of 96 Fall KISS Conference*, Vol.23, No.2, Oct., 1996.
- [7] D.H. Kim, and K.H. Ryu, "A Study on The Spatiotemporal Aggregate Functions," *Proceedings of 97 Winter KISS-SIGDB Conference*, Feb., 1997.
- [8] W. Kim, "Introduction to Object-Oriented Databases," *Computer Systems Series*, The MIT Press, 1990.
- [9] W. Kim, "On Object Relational Database Technology," *DASFFA '95, The 4th International Conference on Database Systems for Advanced Applications*, Tutorial Notes, Apr., 1995.
- [10] G. Langran, "Time in Geographic Information Systems," *Taylor & Francis Inc.*, 1990.
- [11] T. Larue, D. Pastre, and Y. Viemont, "Storing Integration of Spatial Domains and Operators in a Relational Database System," 1993.
- [12] R. Laurini, and D. Thompson, "Fundamentals of Spatial Information Systems," 4th Edition, The A.P.I.C. Series No.37, Academic Press, 1995.
- [13] K.W. Nam, D.H. Kim, and K.H. Ryu, "The Spatiotemporal Relationship Operator," *ITC-CSCC '96, International Technical Conference on Circuits/Systems, Computers, and Communications*, Jul., 1996.
- [14] D. Peuquet, and L. Qian, "An Integrated Database Model for Spatiotemporal GIS," *International Symposium on Spatial Data Handling*, 1996.
- [15] D. Peuquet, and N. Duan, "An Event-based Spatiotemporal Data Model(ESTDM) for Temporal Analysis of Geographical Data," *International Journal of Geographic Information Systems*, Vol.9, No.1, 1995.
- [16] R. Snodgrass, "The Temporal Query Language TQuel," *ACM TODS*, Vol.12, No.2, Jun. 1987.
- [17] R. Snodgrass, "The TSQL2 Temporal Query Language," *Kluwer Academic Publishers*, 1995.
- [18] V. Tsotras, and A. Kumar, "Temporal Database Bibliography Update," *ACM SIGMOD RECORD*, Vol.25, No.1, Mar., 1996.
- [19] M. Worboys, "A Unified Model for Spatial and Temporal Information," *The Computer Journal*, Vol.37, No.1, 1994.



조 영 소

e-mail : yscho@mail.hgm.net

1990년 충북대학교 전자공학과 졸업(공학사)

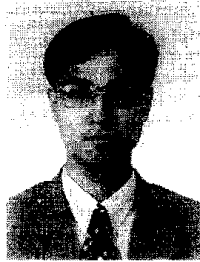
1984년~1987년 스웨덴 L.M.E.(연구원)

1990년 충북대학교 대학원 전자계산학과 졸업(이학석사)

1998년 충북대학교 대학원 전자계산학과 졸업(이학박사)

1980년~현재 한국전자통신연구원(책임연구원)

관심분야 : 신호프로토콜, 루팅제어, 멀티미디어통신 등



김 동 호

e-mail : dhkim@dblab.chungbuk.ac.kr

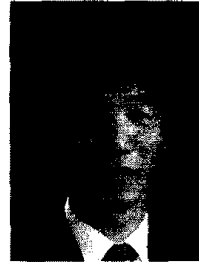
1993년 충북대학교 전자계산학과 졸업(이학사)

1995년 충북대학교 대학원 전자계산학과 졸업(이학석사)

1999년 충북대학교 대학원 전자계산학과 졸업(이학박사)

1997년 한국전자통신연구원(위촉연구원)

관심분야 : 시간지원 데이터베이스, 시공간 데이터베이스, 멀티미디어 시스템, 객체지향 데이터베이스, 루팅 제어 등



류 근 호

e-mail : khryu@dblab.chungbuk.ac.kr

1976년 송실대학교 전산학과 졸업(이학사)

1980년 연세대학교 산업대학원 전산전공(공학석사)

1988년 연세대학교 대학원 전산전공(공학박사)

1976년~1986년 육군 군수 지원사 전산실(ROTC 장교), 한국전자통신연구소(연구원), 한국방송통신대학교 전산학과(조교수) 근무

1989년~1991년 Univ. of Arizona. Research Staff (TempIS 연구원)

1986년~현재 충북대학교 컴퓨터과학과 교수 겸 컴퓨터정보통신연구소장

관심분야 : 시간지원 데이터베이스, 시공간 데이터베이스, 정보검색, 객체 및 지식베이스 시스템