

계층적 시간지원 지리정보 시스템을 위한 시공간 데이터 모델과 그 연산자 확장

김 동 호[†] · 이 종 연^{††} · 주 영 도^{†††} · 류 근 호^{††††}

요 약

기존의 GIS(Geographic Information System)는 실세계에 존재하는 지형객체의 속성정보와 공간정보를 취급하는 소프트웨어이다. 이 시스템은 고정된 데이터를 다루기 때문에 시간변이 정보를 저장 관리하여 사용자에게 제공할 수 없으며 제공한다 하더라도 제한적이며 질의 표현과 처리에 많은 어려움을 갖는다. 따라서 이 논문에서는 시간지원 지리정보 시스템의 계층적 접근 방법을 기반으로 기존의 지리정보 시스템이 제공하는 공간에 시간 개념을 확장하여 시간에 따라 변화하는 공간객체의 이력을 지원하는 시공간 통합 데이터 모델을 연구하였다. 즉, 시공간 데이터베이스 구조의 변화에 대한 데이터 구조를 설계하고, 시간변이 공간연산과 이에 따른 시간지원 공간연산자를 제안한다.

Spatiotemporal Data Model and Extension of their Operations for a Layered Temporal Geographic Information System

Dong Ho Kim[†] · Jong Yun Lee^{††} · Young-Do Joo^{†††} · Keun Ho Ryu^{††††}

ABSTRACT

The conventional geographic information system(GIS) is a software which handles spatial and aspatial information of objects in the real world. The system can not support users time-varying information because it manipulates their snapshot data in the spatial database. Also even though it supports time-varying information, it is very limited and has many difficulties in presenting and processing queries.

This paper therefore describes an integrated spatiotemporal data model using loosely-coupled approach which is extended a time dimension for the previous spatial database and which handles time-varying historical information of spatial objects. Conclusively this paper not only designed a data structure for spatiotemporal database, but also implemented spatial comparison operations varying over time.

1. 서 론

최근에는 시간, 공간, 시공간, 그리고 멀티미디어 과

류 등의 자료 처리를 요구하는 새로운 응용 분야의 출현과 함께, 기존의 데이터베이스 관리 시스템(DBMS)에서 동시성, 연역적 능력과 시간적, 공간적, 또는 시간과 공간이 결합된 시공간 자료처리, 시간 지원 멀티미디어를 위한 질의 확장의 필요성이 대두되고 있다 [10]. 특히 1990년대 들면서 주로 시간과 공간이 결합된 시공간 데이터베이스 모델의 기초 연구가 진행되고 있다 [4, 19, 23, 24]. 지금까지 시간 및 공간 데이터베이

* 이 연구는 한국통신'97년도 정보통신 기초연구과제의 연구비 지원에 의하여 수행되었음.

†정 회원 : 충북대학교 컴퓨터학과

††준 회원 : 충북대학교 컴퓨터학과

†††정 회원 : 한국통신 멀티미디어연구소

††††정 회원 : 충북대학교 컴퓨터학과

논문접수 : 1997년 11월 17일, 심사완료 : 1998년 3월 4일

스의 질의처리 연구는 공간질의(2.9.20)와 시간질의(3.21)의 개별적인 형태의 연구가 진행되어 왔다.

시공간 데이터 모델과 질의 연구에는 Al-Taha의 시공간 데이터베이스 자료 분석을 시작으로 Cheng의 시공간 자료에 대한 객체관계 모델(5), Worboy의 이차원 공간과 이차원 시간정보의 통합 데이터 모델(23), Claramunt의 지리정보 시스템을 위한 사건기반 시공간 개념 모델(6), Peuquet의 사건기반 시공간 데이터 모델(19), Yuan의 시간지원 GIS 및 시공간 모델링(24)과 Bohlen의 기존 응용 시스템을 위한 시공간 데이터베이스 지원(4) 등의 연구가 있다. Cheng은 시공간 데이터에 대한 객체-관계(Entity relationship) 모델을 제안하고 시간선(time line)상에서 객체의 값을 검사하는 시간 패턴매칭과 하나 이상의 공간 도메인에 대한 특징 또는 상대적 위치를 검사하는 공간의 패턴매칭을 이용하여 시공간 패턴매칭 언어를 제안하였다. Worboy는 전통적인 데이터베이스와 시간 및 공간 데이터베이스의 기존 연구의 분석을 바탕으로 이차원 공간과 유효시간 및 거래시간의 4차원 통합 모델의 필요성과 그 시공간 정보 모델로서 단순 시공간 객체와 복합 시공간 객체를 제시하였다. 특히 이 모델에서는 시간과 공간정보를 통합한 시공간 정보를 모델링하고 이원시간(bitemporal)을 지원하는 객체기반의 시공간 모델을 지원하는 시공간 관계대수(spatio-bitemporal relational algebra)를 정의하였다. Claramunt는 공간상에서 발생하는 사건 정의로서 단일 객체에서 발생하는 생성, 소멸, 안정 유지의 기본 연산과 팽창, 축소, 변형의 변화 연산, 재배치, 회전의 이동 연산, 그리고 다수 객체간에 발생하는 계승, 자리바꿈의 대체 연산과 생산, 재생산, 전이의 진화 연산과 분리(split), 결합(union), 재할당(reallocation)의 재구성 연산 등의 사건 진화에 따른 공간변이 과정을 상세히 기술하였다. 아울러 사건에 따라 발생하는 공간변화 내용을 관리할 수 있는 확장 버저닝 모델과 TGIS(Temporal GIS)를 위한 속성질의, 시간질의, 공간질의, 시공간 질의를 분류하여 정의하였다. Peuquet은 벡터기반 접근 방법을 이용하여 사건의 발생시간에 따라 변화하는 객체의 모든 공간정보를 저장하는 사건 목록과 함께 그 변화 내용을 저장하는 방식으로 지형 데이터의 시간 분석을 위한 사건기반 시공간 데이터 모델을 제안하였다. Yuan은 지금까지 GIS에서 시간지원 데이터 모델의 연구 추이의 비교 분석을 통해 의미, 시간, 공간의 영역 모델

에 대한 개념적 프레임워크를 설계하였다. 최근에 Bohlen은 기존의 TSQL2(21)를 기반으로 시공간 자료 지원을 위한 시공간 자료형, 시공간 지원 연산자, 그리고 시간과 공간을 동시에 지원하는 시공간 질의의 생성 및 조작 질의문에 대해 정의한 바 있다.

그러나 이들의 연구에서 공간 데이터베이스, 시간 데이터베이스, 시공간 데이터베이스는 공간객체와 시간객체의 개별적 연구 형태로 진행된 바 있으며, Bohlen(4), Cheng(5), Claramunt(6), Peuquet(19), Worboy(23), Yuan(24) 연구가 시간과 공간을 동시에 지원하는 데는 다음과 같은 문제점들이 대두된다.

●첫째, 공간 데이터베이스는 지리정보 시스템(GIS)을 위한 공간관리 도구의 연구 유형으로 주로 공간객체의 속성 및 공간정보를 지원하며, 시간에 따라 변화하는 객체의 이력을 지원하지 못한다.

●둘째, 시간지원 데이터베이스는 주로 기존의 관계형 DBMS의 질의처리 시스템의 시간 확장 유형으로 진행되어 왔다. 특히 시간지원 연구는 관계형 데이터베이스에서 유효시간과 거래시간의 이중시간 차원과 시간 질의를 완전히 결합한 시간지원 데이터 모델과 시간질의의 연구 형태로서 진행되어 왔다. 하지만 시간지원 연구는 먼저 시간지원 모델과 시간질의의 표준화가 시급한 상태로서 현재 이 연구는 프로토타입의 개발 수준에 있으며, SQL3/Temporal 위원회를 중심으로 시간지원 모델의 표준 규격이 연구되고 있다. 아울러 상용화된 시간지원 DBMS도 존재하지 않으며, 기존의 시간지원 DBMS의 출현도 단지 시간 차원의 추가적인 지원 형태로서 공간 정보를 지원하지 않는다. 따라서, 시간지원 DBMS가 출현할지라도 공간 적용을 위해서는 다시 공간객체의 데이터 모델과 공간 질의의 확장이 요구된다.

●셋째, 위에서 기술한 바와 같이 공간 및 시간지원 데이터베이스 연구는 개별적인 연구에서 시간 또는 공간에 편중된 정보만을 지원하므로 그 응용 분야에 따라 데이터 모델과 질의, 또는 색인 구조 관련 많은 문제점 발생으로 최근에는 공간과 시간이 결합된 시공간 데이터베이스 연구의 필요성 대두와 함께 기초적인 연구가 진행되고 있다.

●넷째, 기존의 시공간 연구는 관계대수 확장(23)이나 이른적인 시공간 모델(19) 연구에 치중되어 있다.

앞서 기술한 바와 같이 지금까지 시공간 데이터베이스 연구는 그 시공간 데이터 모델 및 질의처리, 그리고 시공간 저장 및 색인구조에 이르는 모든 분야에서 아직도 해결해야 할 많은 문제가 있다. 뿐만 아니라 공간객체는 시간 흐름에 따라 속성정보 또는 공간정보가 변화하므로 기존의 공간관리 시스템은 시간변이 공간객체의 이력관리가 요구되고 있다. 따라서, 이 논문에서는 제시된 문제점의 해결을 위해 기존의 GIS 공간 데이터 모델을 시간차원 확장한 시공간 데이터 모델과 그 모델을 지원하는 시간지원 공간 연산자를 제안한다.

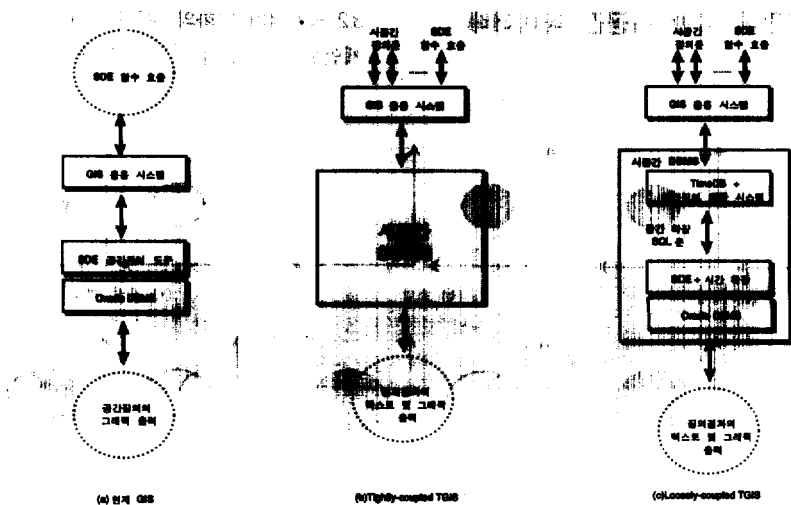
이 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저 2장에서는 기존의 지리정보 시스템에서 제공하는 시간지원 접근 방법에 대해 분석하고, 3장은 시간지원 지리정보 시스템을 위한 시공간 데이터베이스의 구조 설계로서 시간에 따라 변화하는 공간객체의 이력 발생단계와 단계마다 발생하는 시공간 데이터베이스 구조를 설계한다. 그리고 4장은 기존 GIS의 공간 데이터베이스 구조를 기반으로 추가되는 시공간 자료형, 유효시간, 시공간 통합 데이터 모델, 공간요소, 속성요소 등을 정의하며, 5장에서는 설계된 시공간 데이터베이스 구조를 바탕으로 시공간 지원 프로젝트션 연산의 설계와 시간지원 공간관계 연산자 및 그 의미를 기술한다. 6장은 설계된 시스템의 구현 및 평가로서 시공간 데이터베이스의 스키마 정의, 시스템 구현 및 시공간 질의 평가와 그 기여도를 기술한다. 끝으로 제 7장은 결론, 결론과 앞으로의 연

구과제에 대해 기술한다.

2. 시공간 자원 접근방법

시간지원 지리정보 시스템의 구성은 그림 1에서 도시한 바와 같이 밀착결합 방식(tightly-coupled approach)과 불완전 결합 방식(loosely-coupled approach)의 두가지 방법이 존재한다. 밀착결합 방식은 그림 1(b)와 같이 시간과 공간을 동시에 결합하여 시공간 데이터 모델과 질의처리 시스템을 완전히 통합 지원하는 시공간 DBMS 기반위에 GIS 응용을 적용하는 유형이다. 반면 불완전 결합방식은 동일한 인터페이스를 제공하지만 계층적 통합에 의한 시간지원 유형으로 상용 DBMS와 기존의 공간도구의 기반 위에 시간차원 확장하는 유형이다. 시공간 데이터베이스 초기 연구형태는 주로 불완전 결합 방식이며 기존의 GIS 공간도구와 상용 DBMS의 기반 위에 시간차원의 추가적인 지원으로 접근이 용이하다.

공간과 시간이 완전히 결합된 시공간 DBMS의 질의처리 방식은 가장 이상적이며 동시에 차세대 시공간 DBMS의 접근 방식이다. 또한 밀착 결합 방식은 기존의 속성정보, 공간정보, 그리고 시간 개념을 결합한 새로운 시공간 데이터 모델링이 요구되며, 가장 이상적인 시공간 질의처리 방법으로 평가되고 있다. 하지만 밀착



(그림 1) 시공간 질의처리 시스템의 접근 방식
(Fig. 1) Approaches of spatiotemporal query processing system

결합 방식은 공간 또는 시간 데이터베이스의 개별적인 연구 진행과 함께 구현상의 어려움이 따른다. 반면에 불완전 결합 방식은 기존의 안정된 시스템의 기반으로 높은 안정성과 적은 비용으로 공간객체의 이력을 지원할 수 있다. 아울러 사용자로부터 공간객체 관련 공간 속성 질의, 공간질의, 시간질의, 시공간 질의의 모든 질의 유형을 지원할 수 있다. 밀착 결합 방식과 비교하여 특히 안정된 GIS용 공간도구와 DBMS의 기반 위에 시간차원의 추가 지원으로 실질적인 시간 및 공간지원 기술의 적용에 의한 차세대 시공간 DBMS의 질의처리 방법을 실현할 수 있는 장점을 갖는다.

아울러 SDE(Spatial Database Engine)[11]는 ESRI사에서 개발한 공간자료 관리 시스템으로 기존의 정보 시스템 환경에서 GIS 구현을 위한 공간자료 관리 기술의 새로운 유형이며 빠르고 효율적인 공간 연산을 수행하는 소프트웨어 서비스들로 구성된 최첨단 클라이언트-서버 구조를 채택하고 있으며, 대규모 지형 데이터 세트를 다루는 고성능 공간 데이터베이스이다. 따라서 이 논문에서 GIS의 시간지원 방식은 SDE 공간도구와 Oracle DBMS을 바탕으로 계층적 접근 방법에 의한 불완전 결합방식이다. 이 연구는 특히 SQL3의 시간 및 공간 질의처리 규격과 같이 모든 속성질의, 공간질의, 시간질의, 시공간 질의를 지원할 수 있는 계층적 불완전 결합방식에 의한 시간지원 지리정보 시스템의 구현이다.

3. 시간이력 지원을 위한 시공간 데이터베이스 구조

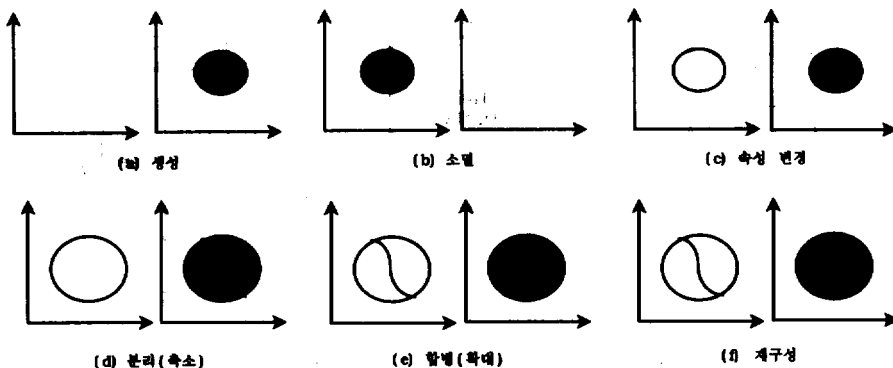
이 장에서는 공간상에서 시간 흐름에 따라 공간객체의 이력을 변화시키는 속성 변경 및 생성, 소멸, 분리, 합병, 재구성의 공간 연산과 시공간 데이터 모델의 구조를 정의하고, 단계별 변화하는 시공간 데이터베이스 구조에 대해 기술한다.

3.1 공간객체의 이력 변화

공간 좌표상에서 공간객체는 시간 흐름에 따라 지명, 지목, 용도, 소유주, 소유주의 주소 등의 비공간 속성정보 또는 새로운 도로나 빌딩의 건설, 또는 지형의 분할에 의한 축소, 지형의 합병, 지형의 재구성에 의한 공간정보가 변화하므로, 기존의 공간관리 시스템은 시간에 따라 변화하는 공간객체의 이력관리가 필수적 기능으로 부각되고 있다. 공간객체의 이력정보는 그림 2와 같이 새로운 객체의 생성, 객체 소멸, 단순한 속성정보의 변경과 객체의 분리, 합병, 구역 재구성 등의 공간 연산에 의한 공간정보 변화 등으로 요약된다.

공간객체는 시간에 따라 속성 또는 공간정보가 변화하며, 공간 데이터베이스 시스템에서는 이와 같은 이력정보의 데이터베이스 저장 및 관리가 요구된다. 여기서는 객체의 공간정보와 속성정보를 분리하여 저장하는 이원적 공간 데이터베이스 구조를 기반으로 유효시간을 추가 지원한다. 따라서 설계된 시공간 데이터베이스에서는 시간에 따라 변화하는 공간객체의 생성, 삭제 또는 변경 정보의 이력관리가 요구된다.

3.2 공간객체 변화의 시공간 데이터베이스 제안된 시공간 데이터베이스(spatiotemporal)



(그림 2) 시간에 따른 공간객체의 이력 변화
(Fig. 2) State changes of spatial objects over time

database)는 객체 성질에 따라 유사한 객체 크롬을 계층(layer)으로 분류 저장하므로 결국 계층은 유사한 객체 그룹이다. 계층에 속하는 공간객체는 그림 3과 같이 그 속성정보와 공간정보를 속성 릴레이션과 공간 릴레이션에 분리하여 저장하는 이원 데이터베이스 구조를 가진다. 이 연구에서 제시한 시공간 데이터베이스는 계층마다 제공되는 공간 릴레이션과 속성 릴레이션과 이력정보를 저장하기 위한 공간 이력 릴레이션과 속성 이력 릴레이션이 지원된다. 시간을 추가한 공간 이력 릴레이션은 객체의 공간정보 변경 또는 삭제에 의한 공간객체의 공간 이력정보를 저장한다. 속성 이력 릴레이션에는 공간객체의 속성값 변경 또는 삭제에 의한 공간객체의 속성 이력을 관리한다.

아울러 그림 3은 시공간 데이터베이스 구조의 한 예이다. 공간 릴레이션은 공간객체의 식별자(fid), 객체의 그래픽 구성요소 갯수(pts), 면적(area), 길이(len), 유효시간의 시작시간(vs)과 종료시간(ve), 객체의 이력 포인트(prev)의 속성들로 구성되며, 속성 릴레이션은 객체 식별자(gid), 객체의 이름(name)와 기타 속성정보(tot, wp)들로 구성된다. 여기서 공간 릴레이션과 속성 릴레이션간에는 데이터베이스의 조인 연산에 의해서로 연결된다.

따라서 설계된 시공간 데이터베이스에서 공간 및 속성 릴레이션은 현재의 공간 좌표상에 존재하는 객체의 공간 및 속성의 최신 정보를 저장하고, 이력정보는 새로 추가된 공간 및 속성 이력 릴레이션에 의해 관리된다. 하지만 기존의 공간 및 속성 릴레이션과 이력지원 릴레이션은 시간에 따라 변화하는 이력정보의 효율적인 검색을 위해 인더(prev)로 연결되며, 공간객체의 삭제는 공간 및 속성 릴레이션에 유지되어 이력정보를 지원한다.

예로, 한 공간객체 이력은 시공간 데이터베이스의 공간 및 속성 릴레이션으로부터 최신의 공간객체를 검색한 다음, 검색된 공간객체의 이력 포인트에 의해 공간 및 속성 이력 릴레이션으로 부터 이력정보를 검색할 수 있다. 속성 릴레이션에서 속성 prev는 객체 삭제에 대한 바로 이전 객체의 식별자를 제공하며, 지원 이력 정보는 바로 객체의 이력 포인트에 해당한다. 또한, 설계된 시공간 데이터베이스 구조에서 이력정보는 튜플 수준 타임스탬프 방법[16]에 따라 공간 또는 속성값 변경의 경우 모두 속성 이력 릴레이션과 공간 이력 릴레이션에 저장된다. 그림 3에서 시공간 데이터베이스의 표현을 위해 공간 이력 릴레이션의 첫번째 튜플 주소를

fid	pts	area	len	vs	ve	prev
5	67	0	2134	01-Aug-97	now	null
8	50	0	105	01-Nov-97	now	1800
9	50	0	105	01-Nov-97	now	1900
1	16	0	1600	01-Nov-97	now	null

(a) 공간 릴레이션

gid	name	tot	wp	vs	ve	prev
5	grave	523	516	01-Aug-97	now	null
8	trigg	300	30	01-Nov-97	now	2500
9	hick	256	20	01-Nov-97	now	2500
1	fulton	990	800	01-Nov-97	now	null

(b) 속성 릴레이션

fid	pts	area	len	vs	ve	prev
2	15	0	513	01-May-97	31-Jul-97	null
3	87	10	191	01-May-97	31-Jul-97	null
6	29	0	640	01-Aug-97	31-Sep-97	null
7	29	0	1640	01-May-97	31-Jul-97	null
2	15	0	513	01-Aug-97	31-Sep-97	1100
3	87	0	191	01-Aug-97	31-Sep-97	1200
2	15	0	513	01-Oct-97	31-Oct-97	1100
4	2	0	1103	01-Aug-97	31-Oct-97	1100
8	45	0	100	01-Oct-97	31-Oct-97	1500
9	47	0	110	01-Oct-97	31-Oct-97	1500

(c) 공간 이력 릴레이션

gid	name	tot	wp	vs	ve	prev
2	hick	827	670	01-May-97	31-Jul-97	null
3	hick	556	50	01-May-97	31-Jul-97	null
6	fultan	700	763	01-Aug-97	31-Sep-97	null
7	fultan	790	763	01-May-97	31-Jul-97	null
2	fulton	827	670	01-Oct-97	31-Oct-97	2100
3	hick	556	50	01-Aug-97	31-Sep-97	2200
2	hick	827	670	01-Aug-97	31-Oct-97	2100
3	hick	556	50	01-Aug-97	31-Oct-97	2100
6	fultan	700	763	01-Oct-97	31-Oct-97	2500
7	fultan	790	763	01-Oct-97	31-Oct-97	2500

(d) 속성 이력 릴레이션

(그림 3) 시공간 데이터베이스 구조와 그 변화의 예 (Fig. 3) A spatiotemporal database structure and its changes

1100, 두 번째 튜플의 주소를 1200, 세 번째 튜플의 주소를 1300, 등으로 가정하고, 속성 이력 릴레이션에 대한 두 번째 튜플의 주소를 2100, 두 번째 튜플의 주소를 2200, 세 번째 튜플의 주소를 2300 등으로 가정한다.

4. 시공간 통합 데이터 모델

시공간 데이터베이스에서는 정의1과 같이 기본적인

자료형과 공간차원 지원을 위한 점, 선, 영역의 기본 공간객체 클래스와 점 복합 클래스, 선 복합 클래스, 영역 복합 클래스를 지원한다. 아울러 공간 및 시간 데이터베이스의 지원을 위해서는 사용자에게 따라 새로운 추상적 시간 자료형의 지원을 요구한다. 제시된 시공간 데이터베이스는 전통적인 관계형 데이터베이스에서 제공하는 2차원 속성과 부가적인 시간 및 공간 차원을 지원한다.

【정의1】 (시공간 자료형) 시공간 데이터베이스는 관계형 데이터베이스와 공간 데이터베이스, 시간 데이터베이스의 통합 데이터 모델이며 공간 지원을 위한 점 (POINT), 선(LINE), 영역 (AREA)의 기본 공간객체 클래스와 점 복합 클래스, 선 복합 클래스, 영역 복합 클래스로 구성된다. 또한 시간차원 지원은 INTERVAL, PERIOD, TIMESTAMP 자료형을 갖는다. □

시간은 본래 연속성을 갖는 변수이지만, 자연수와 같이 연속적이고 이산변수 취급이 실용적이며 데이터 표현도 가능하다[22]. 또한, 데이터베이스에서 취급하는 시간 차원에는 실세계에서 유효 자료의 발생시간을 가리키는 유효시간과 유효 자료의 데이터베이스 기록시간을 나타내는 거래시간의 이중시간을 지원할 수 있다. 이 논문에서 시간은 단지 정의2와 같이 연속적이고 이산적이며 일정간격을 유지하는 유효시간(VT) 집합으로 정의된다. 시공간 데이터베이스에서 유효시간 VT는 실질적으로 date, time, datetime의 값을 갖는다.

【정의2】 (유효시간) 유효시간 VT는 실세계에서 유효 공간객체의 발생시간으로 연속적이고 이산적이며 항상 일정간격을 유지하는 점들의 집합으로 실질적으로 모든 사건의 출발점 t_0 에서 현재(now)까지의 이산적인 시간점들의 집합인 $t_1, t_2, t_3, \dots, \text{now}$ 로 표현된다. 즉,

$$VT = \{ t_0, t_1, t_2, t_3, \dots, t_i, \dots, \text{now} \}$$

$$t_0 < t_1 < t_2 < t_3, \dots, t_i, \dots < \text{now}$$

$$t_i = t_{i-1} + 1 \text{ 및 } t_i = t_0 + i, i \geq 0 \text{인 정수 } \square$$

여기서 유효시간 VT는 순서를 가지고 연속적이고 이산적이며, 순차적인 시간점들의 전체 집합이다. 변수 now는 현재시간을 가리키는 시간상수이며, 시간의 흐름에 따라 변화한다. 또한 시간의 차분 입상 (granularity)은 그 응용 시스템에 따라 세기, 년, 월, 일, 시간, 분, 초, 마이크로초(micro second) 등이다.

시간과 공간이 지원되는 시공간 데이터베이스에서 시공간 객체 F는 사차원 벡터 $\langle S, A, VT, \text{prev} \rangle$ 로 정의된다. 여기서 A는 시공간 객체의 속성이고, S는 공간상의 기하학적 위치정보를 나타내며, VT는 유효시간, prev는 이력 포인트를 의미한다. 지금까지 상용화된 지리정보 시스템은 2차원 또는 2.5차원, 3차원을 지원하며, 3차원을 지원하는 지리정보 시스템에서 공간객체의 위상정보는 계산 과정을 거치지 않고 직접적인 산출이 가능함을 의미한다. 따라서 사차원 시공간 데이터베이스 시스템에서 시간정보는 사용자의 별도 계산없이 직접적으로 산출할 수 있다.

시공간 데이터베이스를 구성하는 공간객체는 점, 선, 영역의 기본 객체 클래스와 복합 객체 클래스로 나타낼 수 있으며, 이원적 구조를 갖는다. 즉 공간객체는 공간 정보 $S = \{ S_1, S_2, \dots, S_m, SC, m > 1 \}$ 와 속성 정보 $A = \{ A_1, A_2, A_3, \dots, A_n, VT, \text{prev}, n > 1 \}$, 그리고 유효시간 정보 $VT = \{ VT_s, VT_e \}$ 에 의해 표현된다. 그리고 사차원 시공간 객체 $\langle S, A, VT, \text{prev} \rangle$ 로 표현될 수 있다. 따라서, 과거의 시간 이력정보를 지원하지 않는 공간객체는 단지 공간 및 속성 정보만을 관리하는 이차원 공간 데이터 모델 $F = \langle S, A \rangle$ 에 의해 표현되며, 유효시간을 지원하는 사차원 시공간 객체는 $\langle S, A, VT, \text{prev} \rangle$ 로 표현되며, 설계된 시공간 데이터 모델은 다음의 정의3과 같이 정의된다.

【정의3】 (시공간 통합 데이터 모델) 시공간 객체는 그 속성별로 이원적 데이터베이스 구조를 가지며 현재의 공간정보 $\langle S', SC' \rangle$ 와 속성정보 $\langle A', VT', \text{prev}' \rangle$, 그리고 공간 이력정보 $\langle S'', SC'' \rangle$ 와 속성 이력정보 $\langle A'', VT'', \text{prev}'' \rangle$ 에 의해 표현된다. □

결국 사차원 시공간 객체 $F = \langle S, A, VT, \text{prev} \rangle$ 는 $\{ \langle S', SC' \rangle, \langle A', VT', \text{prev}' \rangle \}$ 와 $\{ \langle S'', SC'' \rangle, \langle A'', VT'', \text{prev}'' \rangle \}$ 벡터로 표현된다. 따라서, $\langle S, A, VT, \text{prev} \rangle$ 는 현존하는 객체와 이력객체를 포함하는 사차원 시공간 객체를 표현한다.

시공간 데이터베이스에서 공간 좌표상의 객체 F는 최근의 공간 및 속성정보, 그리고 시간정보, 이력정보의 사차원 정보로서 기술된다. 아울러 모든 객체의 공간 이력정보는 공간 이력 릴레이션에 저장되고 속성 이력정보는 속성 이력 릴레이션에 저장된다. 먼저 시공간 데이터베이스를 구성하는 지형객체 fid의 공간정보 S'fid와

공간 구성요소 $SC'(fid)$, 그리고 속성정보 $A'(fid)$ 는 다음의 정의 4, 5에서 정의되며, 여기서 변수 FLi 또는 GLi는 유사한 객체 집합인 레이어를 의미한다.

[정의 4] (공간요소) 공간객체 fid의 공간속성은 공간정보 $S'(fid)$ 와 공간 구성요소 $SC'(fid)$ 로 표현된다. 그리고 $Si(fid)$ 는 객체 fid의 i번째 공간속성이라면 공간정보 $S'(fid)$ 와 공간 구성요소 $SC'(fid)$ 는 다음과 같이 정의된다.

$$S'(fid) = [S_1'(fid), S_2'(fid), \dots, S_n'(fid)]_{FLi}$$

$$SC'(fid) = [\text{spatial components of a spatial object fid}]_{FLi} \square$$

결국 공간정보 $S'(fid)$ 는 객체 fid의 공간속성의 추출을 의미하며, 공간 구성요소 $SC'(fid)$ 는 객체를 구성하는 자료형과 그 좌표값의 추출을 나타낸다.

[정의 5] (속성요소) 속성요소 $A(fid)$ 는 공간객체 fid가 갖는 모든 속성정보를 의미하며, 유효시간 $VT'(fid)$ 는 실제 세계에서 객체 fid의 유효기간으로 다음과 같이 정의된다. 또한 $prev(fid)$ 는 객체의 이력 포인터로서 이력 릴레이션의 객체 식별자이다.

$$A'(fid) = [A_1'(fid), A_2'(fid), A_3'(fid), \dots, A_n'(fid)]_{FLi}$$

$$VT'(fid) = [VT_s'(fid), VT_e'(fid)]_{FLi}$$

$$prev(fid) = [\text{historical pointer of a spatial object fid}] \square$$

결론적으로 공간과 시간이 결합된 사차원 시공간 객체의 데이터 모델 F를 유도할 수 있다. 공간벡터 $\langle S', SC' \rangle$ 는 공간 릴레이션이며 속성벡터 $\langle A', VT', prev' \rangle$ 는 공간객체의 속성을 저장하는 속성 릴레이션이다. 그리고 이력 공간벡터 $\langle S'', SC'' \rangle$ 는 공간 이력 릴레이션이며, 이력 속성벡터 $\langle A'', VT'', prev'' \rangle$ 는 속성 이력 릴레이션을 나타낸다. 즉 시공간 데이터 모델의 구조는 다음과 같이 정의된다.

$$F_{spatiotemporal} = \{ \langle S', SC' \rangle, \langle A', VT', prev' \rangle \} \text{ and } \{ \langle S'', SC'' \rangle, \langle A'', VT'', prev'' \rangle \}$$

예로 지번 '1103'은 객체식별자, 위도, 경도, 면적, 중심점의 정보와 지형을 구성하는 점 또는 직선들의 자료형과 그 좌표값의 구성요소를 가진다. 시공간 데이터 모델은 위의 정의 3과 같이 공간정보 S와 속성정보 A,

객체의 유효시간 이력정보 VT, 그리고 과거 이력의 위치정보를 가리키는 속성 $prev$ 에 의해 표현된다. 따라서 공간좌표상의 객체 F는 공간 릴레이션 $\langle S', SC' \rangle$ 와 속성 릴레이션 $\langle A', VT', prev' \rangle$ 에 의해 표현되며, 이 릴레이션들의 이력정보는 공간 이력 릴레이션 $\langle S'', SC'' \rangle$ 와 속성 릴레이션 $\langle A'', VT'', prev'' \rangle$ 에 저장된다. 따라서 지정된 시간에 유효한 객체 검색은 먼저 공간 또는 속성 릴레이션을 탐색하여 현재 유효 객체를 검색한 다음, 유효 객체의 이력정보($prev$)에 의해 과거시간 이력을 반복적으로 검색할 수 있다.

5. 시공간 연산자

시간 표현은 century, year, month, week, day, hour, minute, second, microsecond와 같은 시간 단위로 표현되며, 그 단위는 그 응용 시스템에 따라 선택할 수 있다. 또한 시공간 질의의 시간 표현은 사건 시간을 가리키는 타임스탬프(TIMESTAMP), 단지 일정 시간 동안을 지시하는 시간 간격(INTERVAL), 그리고 일정 크기의 주기시간을 표현하는(PERIOD) 등의 시간지원 상수를 지원해야 한다. 이외도 TSQL2 [21]의 시간 연산자에는 시간지원 상수와 함께 타임스탬프 참조 연산자, 사건시간 생성/추출/위상관계 연산자, 시간간격 생성/비교 연산자, 시간집계 연산 등의 유효시간 지정 선택 및 프로젝션 연산, 거래시간 지정 선택 및 프로젝션 연산 등이 있다.

또한 Worboy[23]는 이전의 관계형 데이터베이스에서 취급하는 관계대수의 시간 확장하여 시공간 지원 관계대수를 정의한 바 있다. 결국 시공간 관계대수는 이전의 관계대수 지원된 물론 시간과 공간이 결합된 시공간 관계 연산을 지원하는 상향 동질성(upward compatibility) 원칙을 유지한다. 아울러 이 논문에서는 시공간 질의 지원을 위한 시공간 지원 프로젝션 연산의 추가적인 설계와 시간지원에 따른 공간관계 연산자의 의미에 대해 기술한다.

5.1 시공간 질의 최적화 연산

시공간 통합 데이터 모델은 시간에 따라 변화하는 객체의 이력정보 추출과 공간 또는 비공간 정보 추출 연산을 지원할 수 있다. 시공간 프로젝션에는 시공간 데이터베이스로부터 시간 지정에 의한 속성정보, 비공간 정보, 공간 구성요소 또는 이력정보 등의 추출 연산이

있다. 이와 같은 시공간 지원 연산자의 기능은 다음과 같이 표현된다.

[spatial_{spatiotemporal} 연산자] 이 연산은 시공간 데이터베이스로부터 현재 시공간 객체 fid의 모든 공간 구성요소의 추출 연산으로 지정된 공간객체의 공간 구성요소 SC'를 추출하는 시공간 연산자이다. 아울러 시공간 데이터베이스의 지정된 레이어 F_{Li}에서 공간 추출 연산 spatial F_{Li}(fid)는 다음과 같이 정의된다.

$$\text{spatial}_{F_{Li}}(\text{fid})_{\text{spatiotemporal}} = [\text{SC}'(\text{fid})]_{F_{Li}} \square$$

여기서 spatial 연산자는 공간객체 fid의 공간정보 추출 연산으로 단지 그 객체의 공간 구성요소 SC'(fid)를 선택한다. 예로 '1970년대 이전에 건축된 모든 건물의 공간정보를 검색하시오'의 질의는 1970년 이전에 건립된 모든 건축물의 공간 구성요소의 추출 연산으로 다음과 같이 아주 간략히 표현된다. 여기서 Validtime(fid) 함수는 객체 fid의 유효시간 추출 연산이다.

```
select spatial(*)
from House h
where Validtime(h) precedes TIMESTAMP
'1970-01-01';
```

[aspacial_{spatiotemporal} 연산자] 비공간 추출연산은 시공간 데이터베이스로부터 현재 시공간 객체 fid의 속성정보 추출 연산으로 지정된 공간객체의 비공간 정보 A'와 시간정보 VT'를 추출하는 시공간 연산자이다. 결국 비공간 정보의 추출연산 aspacial F_{Li}(fid)는 다음과 같이 정의된다.

$$\text{aspacial}_{F_{Li}}(\text{fid})_{\text{spatiotemporal}} = [A'(\text{fid}) \text{ and } VT'(\text{fid})]_{F_{Li}} \square$$

위의 aspacial 연산자는 공간객체 fid의 비공간정보 추출로서 그 객체의 비공간 속성정보와 시간 정보를 선택한다. 예로 위의 '1970년대 이전에 건축된 모든 건물의 비공간 정보를 검색하시오' 질의는 1970년 이전에 건립된 건축물의 속성정보와 시간정보의 추출 연산으로 다음과 같이 아주 간략히 표현된다.

```
select aspacial(*)
from House h
where Validtime(h) precedes TIMESTAMP
'01-Jan-1970';
```

[history_{spatiotemporal} 연산자] 이력 추출연산은 시공간 데이터베이스로부터 시공간 객체 fid의 모든 이력정보의 추출 연산으로 지정된 공간객체의 모든 이력자료를 추출하는 시공간 연산자이다. 따라서 이력 추출 연산 history F_{Li}(fid)는 공간 및 속성 릴레이션에서 객체의 공간, 속성, 시간 정보의 선택과 이력 릴레이션으로부터 모든 이력정보의 추출연산으로 다음과 같이 정의된다.

$$\begin{aligned} \text{history}_{F_{Li}}(\text{fid})_{\text{spatiotemporal}} \\ = [S'(\text{fid}), SC'(\text{fid}), A'(\text{fid}), VT'(\text{fid})]_{F_{Li}} \text{ and} \\ [\forall(S''(\text{fid}), SC''(\text{fid}), A''(\text{fid}), VT''(\text{fid}))] \\ \text{History of } F_{Li} \square \end{aligned}$$

이력 추출연산 history는 공간 및 속성 이력 릴레이션으로부터 객체 fid의 현재와 과거의 모든 공간정보, 공간 구성요소, 속성정보 및 시간의 이력정보의 추출 연산이다. 예로 '1970년대 이전에 건축된 모든 건물의 이력을 검색하시오' 질의는 1970년 이전에 건립된 모든 건축물의 이력정보로서 선택 객체의 공간 속성정보, 공간 구성요소, 속성정보, 시간정보의 추출 연산으로 다음과 같이 아주 간략히 표현된다.

```
select history(*)
from House h
where Validtime(h) precedes TIMESTAMP
'01-Jan-1970';
```

5.2 시간지원 공간관계 연산자

시공간 질의문은 이전의 속성질의와 공간질의, 시간질의가 혼합된 복합질의 형태를 구성하며, 공간 연산자와 시간관계 연산자가 결합되어 하나의 술부를 형성한다. 이 논문에서는 속성과 공간 정보로 구성되는 시공간 객체의 정보검색에 시간차원의 적용 연산자를 시간 지원 공간관계 연산자(spatiotemporal relationship operators)라 정의한다. 시간지원 공간관계 연산자에는 표1과 같이 단지 공간 자료형을 지원하는 공간 연산자, 시간 지원 공간관계 연산자 그룹으로 분류된다.

이외도 시간지원 연산에는 타임스탬프 참조 연산자, 사건시간 생성/추출/위상관계 연산자, 시간간격 생성/비교 연산자, 시간집계 연산, 유효시간 기반 프로젝트 및 선택 연산, 거래시간 기반 프로젝트 및 선택 연산 등이 있다[21]. 또한, 시간차원 지원을 위해서는 시공간 질의문에서 valid 또는 transaction 질의 추가적인

〈표 1〉 시간지원 공간관계 연산자
 〈Table 1〉 Spatiotemporal relationship operators

피연산자 1 자료형	시공간 연산자	피연산자 2 자료형	연산 결과
temporal/spatial	overlaps _{Spatiotemporal}	temporal/spatial	boolean
temporal/spatial	contains _{Spatiotemporal}	temporal/spatial	boolean
temporal/spatial	meets _{Spatiotemporal}	temporal/spatial	boolean
temporal/spatial	equals _{Spatiotemporal}	temporal/spatial	boolean
spatial	intersects _{Spatiotemporal}	spatial	boolean
spatial	cross _{Spatiotemporal}	spatial	boolean
spatial	disjoint _{Spatiotemporal}	spatial	boolean

제공을 요구한다. 공간 연산에는 공간 위상관계 연산자와 공간 기하 연산자, 그리고 count, sum, avg, min, max 등의 공간 집계 연산 등이 존재한다[15]. 본 논문의 시공간 연산자에는 spatial, aspatial, history 등의 시공간 프로젝션 연산과 overlaps, contains, meets, equals 등의 시공간 관계 연산자, 그리고 intersects, cross, disjoint 등의 공간지원 연산자 그룹으로 분류하였으며, 시공간 관계 연산자는 그 피연산자로서 공간 또는 시간값을 동시에 지원한다. 이 논문에서 설계한 시공간 연산자와 그 의미는 다음과 같이 정의된다.

【정의6】(공통 유효시간) 시간관계 연산은 시간적으로 기준객체와 탐색되는 객체에 유효시간의 관계 연산이다. 아울러 공통 유효시간 연산은 여러 개의 시간비교 연산자의 결합으로 구성될 수 있으며, 모든 공간 연산자는 다음과 같이 하나 또는 그 이상의 시간비교 연산자와 결합하여 활용될 수 있다.

$$\text{CommonValidtime}(F_L, G_L) = \{ \exists o_{pi} \mid \text{overlaps}_{Spatiotemporal}, \text{contains}_{Spatiotemporal}, \text{meets}_{Spatiotemporal}, \text{equals}_{Spatiotemporal}, \text{precedes}_{Temporal}, \text{start}_{Temporal}, \text{finishes}_{Temporal} \text{ 시간 연산자} \}$$

여기서 첨자 temporal은 시간비교 연산자를 의미하며, 첨자 spatiotemporal은 시간과 공간 연산에 혼용을 의미한다. 결국 표1의 시공간 연산자는 시간 또는 공간의 전용 연산자와 시간과 공간에 모두 사용되는 혼용 연산자로 분류될 수 있다. 또한 공통 유효시간은 표2의 시간비교 연산자의 조건식 표현 알고리즘에 의해

구현되며, 이것은 탐색함수에서 시공간 조건식의 구성으로 사용된다.

【overlaps_{Spatiotemporal} 연산자】 시공간 중복 연산자(overlap)는 주어진 시공간 객체 G_L의 유효시간 VT와 중복되고 공간적으로 시공간 객체 G_L와 중복되는 시공간 객체 F_L을 선정하는 연산으로 주어진 유효시간과 공간 조건을 동시에 공유하는 시공간 객체 그룹 F_L을 선정하며 그 관계식은 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} & \text{Spatial}(F_L) \text{ overlap}_{Spatiotemporal} \text{ Spatial}(G_L) \\ & = [\forall (S'(fid), SC'(fid), A'(fid), VT'(fid)) \\ & \text{with } \exists SC'(F_L) \cap \exists SC'(G_L) \text{ and} \\ & \text{CommonValidtime}(F_L, G_L)] \square \end{aligned}$$

〈표 2〉 SDE 기반 시간비교 연산자의 구현 알고리즘
 〈Table 2〉 An algorithm of SDE-based temporal comparison operators

피연산자	시간 연산 관계 연산자	피연산자	시간 조건식
Validtime(X)	PRECEDES	Validtime(Y) or PERIOD Y (Y:유효기간)	END(X) < BEGIN(Y)
	OVERLAPS		BEGIN(X) < BEGIN(Y) and END(X) < END(Y) and END(X) > BEGIN(Y)
	CONTAINS		(BEGIN(X) < BEGIN(Y) or BEGIN(X) = BEGIN(Y)) and (END(X) > END(Y) or (END(X) = END(Y)))
	MEETS		END(X) + "1 granule" = BEGIN(Y)
	STARTS		BEGIN(X) = BEGIN(Y) and END(X) < END(Y)
	FINISHES		BEGIN(X) > BEGIN(Y) and END(X) = END(Y)
	EQUALS		BEGIN(X) = BEGIN(Y) and END(X) = END(Y)

[is contained_{spatiotemporal} 또는 contains_{spatiotemporal} 연산자] 포함관계 연산자는 주어진 시공간 객체 G_L 의 유효시간 VT 에 포함되고 공간적으로 시공간 객체 G_L 에 포함되는 시공간 객체 집합 F_L 을 선택한다. 이것은 주어진 탐색기준 객체 G_L 의 유효시간과 공간 영역에 포함되는 시공간 객체 그룹 F_L 의 선택 연산으로 그 관계식은 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} \text{Spatial}(F_L) \text{ is contained}_{\text{spatiotemporal}} \text{Spatial}(G_L) \\ = [\forall(S'(fid), SC'(fid), A'(fid), VT'(fid)) \\ \text{with } \exists SC'(F_L) \cap \exists SC'(G_L) \text{ and} \\ \text{CommonValidtime}(F_L, G_L)] \square \end{aligned}$$

[meets_{spatiotemporal} 연산자] 이 연산자는 주어진 시공간 객체 G_L 의 유효시간 VT 과 만나고 시공간 객체 G_L 와 공간적으로 만나는 시공간 객체 집합 F_L 을 선정하는 연산으로 다른 연산자와 같이 주어진 탐색기준 객체 G_L 의 유효시간과 공간적으로 만나는 시공간 객체 그룹 F_L 을 선택하며, 그 관계식은 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} \text{Spatial}(F_L) \text{ meets}_{\text{spatiotemporal}} \text{Spatial}(G_L) \\ = [\forall(S'(fid), SC'(fid), A'(fid), VT'(fid)) \\ \text{with } \exists SC'(F_L) = \exists SC'(G_L) \text{ and} \\ \text{CommonValidtime}(F_L, G_L)] \square \end{aligned}$$

[equals_{spatiotemporal} 연산자] 동치관계 연산자는 주어진 시공간 객체 G_L 의 유효시간 VT 와 공간적으로 일치하는 시공간 객체 집합 F_L 의 선택 연산으로 주어진 시공간 객체 G_L 와 시간 또는 공간적으로 동일한 시공간 객체 그룹 F_L 을 선정하며, 그 관계식은 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} \text{Spatial}(F_L) \text{ equals}_{\text{spatiotemporal}} \text{Spatial}(G_L) \\ = [\forall(S'(fid), SC'(fid), A'(fid), VT'(fid)) \\ \text{with } \forall SC'(F_L) = \forall SC'(G_L) \text{ and} \\ \text{CommonValidtime}(F_L, G_L)] \square \end{aligned}$$

[intersects_{spatial} 연산자] 교차관계 연산자는 주어진 시공간 객체 G_L 의 유효시간 VT 과 교차하고 공간적으로 시공간 객체 G_L 와 교차하는 직선 세그먼트 집합 F_L 을 선정하는 연산으로 주어진 유효시간에 포함되고 공간적으로 교차하는 시공간 객체 그룹 F_L 을 선정하며, 그 관계식은 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} F_L \text{ intersects}_{\text{spatial}} G_L \\ = [\forall(S'(fid), SC'(fid), A'(fid), VT'(fid)) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{with } \exists SC'(F_L) = \exists SC'(G_L) \text{ and} \\ \text{CommonValidtime}(F_L, G_L)] \square \end{aligned}$$

[cross_{spatial} 연산자] 통과관계 연산자는 주어진 시공간 객체 G_L 의 유효시간 VT 에 포함되는 유효시간을 가지고 공간적으로 시공간 객체 G_L 를 통과하는 직선 세그먼트 집합 F_L 을 선정하는 연산으로 그 관계식은 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} F_L \text{ cross}_{\text{spatial}} G_L \\ = [\forall(S'(fid), SC'(fid), A'(fid), VT'(fid)) \\ \text{with } \exists SC'(F_L) = \exists SC'(G_L) \text{ and} \\ \text{CommonValidtime}(F_L, G_L)] \square \end{aligned}$$

[disjoint_{spatial} 연산자] 이 연산자는 주어진 시공간 객체 G_L 의 유효시간 VT 에 포함되고 공간적으로 시공간 객체 G_L 와 완전히 분리된 시공간 객체 집합 F_L 을 선정하는 연산이다. 이 연산은 주어진 시공간 객체 G_L 의 유효시간을 만족하고 공간적으로 인접하지 않는 시공간 객체 그룹 F_L 을 선정하는 연산으로 그 관계식은 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} F_L \text{ disjoint}_{\text{spatial}} G_L \\ = [\forall(S'(fid), SC'(fid), A'(fid), VT'(fid)) \\ \text{with } \forall SC'(F_L) \neq \forall SC'(G_L) \text{ and} \\ \text{CommonValidtime}(F_L, G_L)] \square \end{aligned}$$

6. 시스템 구현 및 질의 평가

이 장에서는 시간지연 지리정보 시스템을 위한 시공간 자료의 생성과 그 시스템 구현 및 질의 표현을 통해 평가한다. 질의 평가에는 시간에 따른 이력질의 표현과 기존의 GIS에서 시공간 표현을 비교 검토한다.

6.1 시공간 자료 정의

설계된 시공간 데이터베이스는 공간객체의 성질에 따라 계층으로 분류 저장되며, 계층마다 유사한 객체들의 집합으로 구성된다. 한 계층에 속하는 객체는 공간 정보를 기술하는 공간 릴레이션과 일반적인 속성정보를 표현하는 속성 릴레이션, 그리고 이외의 기타 속성은 추가 릴레이션에 의해 관리된다. 아울러 시간정보는 속성 릴레이션에 유효시간의 시작시간과 종료시간 속성에 의해 기술되며, 그 시간 표현 단위는 응용 시스템에 따라 다르게 정의된다. 예로, '빌딩' 계층은 객체 식별자(fid), 엔티티 유형, 최대경계 사각형(MBR), 포인트의

개수, 면적, 기울기의 공간정보와 유효시간(VT), 그리고 그 이력정보 표현은 다음의 시공간 생성 질의에 의해 시공간 릴레이션을 생성할 수 있다.

```
create table Feature (
  fid      number(38), // 객체 식별자
  entity   number(5), // 엔티티 유형
  numofpts number(20), // 포인트 개수
  area     number(64), // 면적
  angle    number(38), // 기울기
  mbox     MBR, // 객체의 최대경계 사각형
  prev     number(38) // 이전의 객체 식별자
as validtime : // 이력 정보
```

위의 표현에서와 같이 시공간 질의에는 공간객체를 위한 POINT, LINE, AREA, MBR 등의 새로운 공간 자료형과 유효시간 지원을 위한 새로운 시간 자료형과 validtime 질, 이력정보를 위한 이전 위치정보 등의 추가 기술을 요구한다. 이외도 객체의 속성정보와 기타 다른 정보는 별도의 릴레이션에 의해 표현되며, 객체의 공간 및 속성 이력정보는 공간 이력 릴레이션과 속성 이력 릴레이션에 의해 저장되어 관리된다. 위의 예에서 <as validtime> 절은 유효시간 지원을 위해 시간속성(VTs, VTs)을 추가하여 실질적으로 (fid, entity, numofpts, area, angle, points, mbox, VTs, VTs, prev)의 시공간 릴레이션을 생성한다.

6.2 구현 및 평가

이 연구는 지리정보 시스템에서 시간 이력지원 연구로서 시간에 따라 변화하는 공간연산과 그 변화 이력을 저장관리 할 수 있는 시공간 통합 데이터 모델을 설계하였다. 또한 설계된 시공간 통합 데이터 모델을 바탕으로 시공간 지원 프로젝트 연산, 시간지연, 공간연산과를 구현하였다. 구현 과정에서 자력정보 시스템의 공간 자료 특성이 자주 변화되지 않는 점을 고려하여 이력정보 지원을 위해 유효시간만을 지원하였고, 또한 시간에 따라 변화하는 공간객체의 생성, 소멸, 속성 변경의 단순 공간연산과 객체의 분리, 합병, 재구성 연산에 의한 객체의 공간상태 변화에 따른 시공간 데이터베이스 구조 변화를 기술하므로써 지금까지 주로 이론적인 모델 연구에 비해 시공간 데이터베이스 구조의 실질적인 연구를 제공하고 있다. 특히 설계된 시간지연 공간연산자, 시간 자료형의 시공간 질의 확장으로 시간질의, 공

간질의 및 시공간 질의 표현의 확장성과 유연성을 제공하였다.

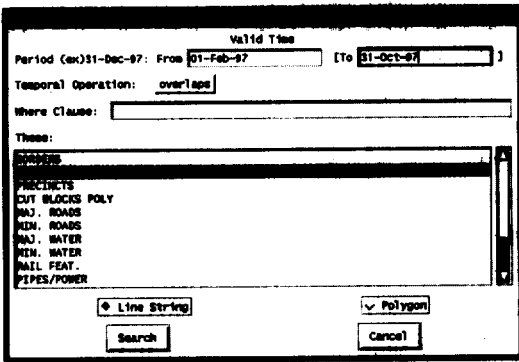
TGIS 구현환경에는 Oracle DBMS와 SDE 공간관리 도구 및 Tcl/Tk 등을 사용하였으며 C 언어와 접속시켰다. 또한 공간 데이터 모델의 유효시간 및 이력지시자 확장을 기반으로 공간지원 시간관계 연산자를 구현하였으며, 구현된 TGIS는 그림 4.5와 같이 SDE Kentucky 시스템에서 GUI 환경으로 지원된다. 그림 4는 구현된 시간지연 지리정보 시스템의 사용자 인터페이스로서 주어진 시간 조건과 시공간 탐색연산의 조건 표현을 나타내며, 그림 5는 그림 4에서 지정된 레이어와 주어진 시간을 만족하며 직선 모양의 주객체(primary feature)를 통과하는 탐색 결과를 보여준다. 이외도 사용자의 응용에 따라 객체 식별, 중복 연산, 주요 도로 등의 시공간 연산을 구현할 수 있다. 그림 5는 주객체인 신설도로 'ABCD'와 교차하지만 출력되지 않은 토지는 유효시간 '01-Feb-97, 31-Oct-97'와 시간적인 중복(overlap) 연산의 결과이다.

다음은 그림 4, 5에서 나타낸 '1997년 2월과 1997년 10월 사이에 신설 도로 'ABCD'와 만나는 모든 토지의 검색' 질의를 설계된 시공간 연산자를 이용한 시공간 질의 표현을 예를 들어 그 편리성과 간편성을 검토한다.

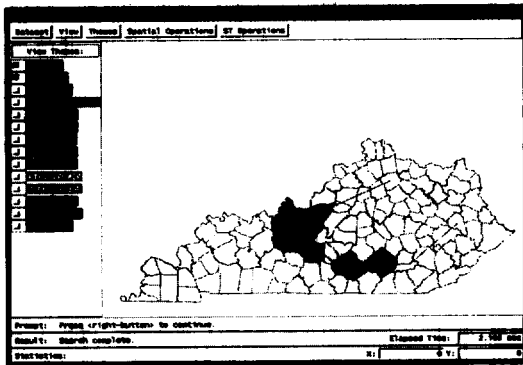
```
[예] select S.fid, S.owner, S.address
from Co_Bnds S, Street P
where P.name = 'ABCD' and
Spatial(S) overlaps Spatial(P) and
Validtime(S) overlaps Period '01-Feb-97, 31-Oct-97';
```

위의 질의는 시간지원 공간관계 연산자 'overlaps'가 공간 또는 시간을 피연산자로 갖는 시공간 위상관계 연산자의 질의 표현의 예를 보여주고 있다.

이 논문은 지리정보 시스템에서 시간 이력질의를 지원하는 시공간 통합 데이터 모델 설계와 시공간비교 연산자의 구현으로 시간에 따라 변화하는 이력을 지원한다. 뿐만 아니라 기존의 지리정보 시스템은 단순히 어떤 시점에서 공간객체의 스냅샷(snapshot) 정보를 제공하는 반면, 제안된 시공간 데이터 모델은 시간변이 공간객체의 이력정보를 저장하여 관리하므로 시간 연산



(그림 4) GIS에서 시간질의 예
(Fig. 4) An example of temporal query in GIS



(그림 5) 시공간 연산의 수행 결과
(Fig. 5) An execution result of spatiotemporal operations

자, 공간 연산자, 시공간 연산자를 이용한 시간 이력질의 제공할 수 있다. 아울러 본 논문의 그 기대효과는 다음과 같이 요약될 수 있다.

첫째, 앞에서 기술한 바와 같이 이전의 지리정보 시스템에서는 단지 어떤 시점에서 저장된 공간 및 속성정보에 대해 스냅샷 정보의 검색 또는 갱신 등의 질의를 지원하지만, TGIS에서는 공간질의, 속성질의는 물론 모든 이력정보를 저장, 관리, 검색, 갱신 등의 연산을 제공할 수 있다.

둘째, 이 논문은 기존의 공간 데이터베이스의 속성정보, 공간정보, 시간정보를 결합한 새로운 시공간 데이터 모델의 구조 설계로서 기본적으로 공간 릴레이션, 속성 릴레이션, 기타 릴레이션을 가지며, 이들의 이력정보는 공간 이력 릴레이션과 속성 이력 릴레이션, 기타 이력 릴레이션에 의해 관리되며 시간관계 연산자의 지원에 따른 이력질의 표현이 가능하다.

셋째, 공간속표에서 시간에 따라 변화하는 공간객체는 생성, 소멸, 속성 변경, 분리, 재구성, 합병 등의 공간연산에 의한 이력정보를 발생한다. 따라서, 이 논문에서는 이와 같은 공간객체의 변화 과정과 이에 따른 시공간 데이터베이스의 변화 과정을 기술하므로써 실용적인 시공간 통합 데이터 모델을 제시하였다.

넷째, 설계된 시공간 데이터베이스 구조를 바탕으로 시공간 관계질의, 시간 질의, 공간 질의 표현을 위한 유효시간 지정 공간 프로젝션 연산과 선행, 중복, 포함, 교차, 동등 관계 등의 시간지원 공간 연산자 및 그 의미를 제시하므로써 지금까지 주로 이론적인 시공간 데이터베이스 연구(6)(19)에 비해 실질적인 시공간 기초 연구자료로서 기대된다.

다섯째, 최근들어 많은 응용 시스템은 그 분야에 따라 관계 질의와 함께 공간질의, 시간질의, 시공간 질의의 확장을 요구하고 있다. 따라서, 본 논문은 관계 연산의 시간 연산자, 공간 연산자, 시공간 연산자, 그리고 시공간 지원 함수의 확장으로 사용자의 응용 시스템에 맞는 질의 표현력의 개선 및 편리성, 그리고 질의 표현의 유연성을 제공할 것으로 기대된다. 예로, 이전의 SDE 공간관리 도구에서 'count all residential buildings in areas zoned for commercial use from 1996 to 1997' 질의는 그림6과 같이 복잡한 함수 호출에 의해 표현된다(11).

```

FEATURE zonef, bldgf;
zonelayer = s100;
bldcnt=0;
for (returncode=SE_get_feature_by_layer(zonelayer,
    &zonef, "zone = 'COMMERCIAL'");
    returncode = SUCCESS; returncode
    = SE_get_next_feature(&zonef)) {
    SE_set_search_by_feature(&zonef);
    for (returncode = SE_search(bldglayer, SM_AI,
        &bldgf, "USE='RESIDENTIAL'",
        "VTs)='01-Jan-96' and VTe < '31-Dec-1997'");
        returncode = SUCCESS;
        returncode = SE_next_search_feature(&bldgf)) {
        bldcnt++;
    }
}
    
```

(그림 6) SDE를 이용한 시간 및 공간 질의의 예
(Fig. 6) An example of spatial and temporal queries using SDE

하지만 이 연구에서 제시된 시공간 연산자에 의한 질의 표현은 그림 7과 같이 질의가 아주 간략하게 표현되며, 시간과 공간을 동시에 지원하는 관계질의 시공간 질의 확장과 이로 인한 질의 표현의 편리성과 간결함으로 그 질의 이해가 아주 용이함을 알 수 있다.

```
SELECT count(fid)
FROM S100 S
WHERE zone = 'COMMERCIAL' and USE
        = 'RESIDENTIAL' and
Validtime(S) overlaps PERIOD '01-Jan-96,
31-Dec-1997'
```

(그림 7) 시공간 질의 표현의 예
(Fig. 7) An example of spatiotemporal queries

위의 예를 통해 시공간 연산자는 공간 또는 시간 객체를 그 피연산자로 가질 수 있으며, 시공간 지원을 위한 시공간 자료형, 시공간 연산자, 시간 연산자 및 상수, 그리고 시간 차원 지원을 위한 질의문 등의 추가 지원을 요구한다.

7. 결 론

이 논문은 시간지원 GIS를 위한 시공간 통합 데이터 모델과 이를 바탕으로 유효시간 지원-프로젝션 연산자와 시간지원 공간 연산자의 설계 및 구현으로 계층적 불완전 결합방식을 이용하였다. 또한 시공간 데이터베이스 설계를 위하여 공간에서 시간에 따라 발생하는 생성, 소멸, 속성 변경의 단순 공간연산과 공간적으로 분리, 병합, 재구성의 복잡 공간연산을 정의하고 그 단계별 시공간 데이터베이스 구조의 변화에 대해 기술하였다. 특히 이 논문에서 설계된 시공간 데이터베이스는 계층마다 공간 릴레이션과 속성 릴레이션을 제공하여 유효시간 지원에 의한 이력정보는 추가된 공간 이력 릴레이션과 속성 이력 릴레이션에 의해 관리된다. 추가된 공간 이력 릴레이션은 객체의 공간정보 변경 또는 객체의 삭제에 의한 공간객체의 이력정보를 저장하게 된다. 속성 이력 릴레이션에는 공간객체의 속성값 변경 또는 삭제에 의한 공간객체의 속성 이력을 관리한다. 따라서, 설계된 시공간 데이터베이스에서 공간 및 속성 릴레이션은 현재의 공간 좌표상에 존재하는 객체의 공간 및 속성의 최신 정보를 저장하고, 이력정보는 새로 추

가된 공간 및 속성 이력 릴레이션에 의해 관리된다. 이 연구의 구현은 불완전 결합방식의 일환으로 ESRI의 SDE 공간도구와 Oracle DBMS에서 공간 데이터베이스의 유효시간과 그 시공간 연산자의 확장 방식을 채택하였다.

따라서, 기존 GIS는 소냅샷 형태의 공간 또는 속성 정보를 제공하는 공간 데이터베이스를 지원하는 반면에, 제시된 시공간 데이터베이스는 이전의 공간 데이터베이스의 유효시간 차원 확장과 이를 바탕으로 유효시간 지원-프로젝션과 시간지원 공간관계 연산자의 구현으로 사용자로부터 이력정보 검색을 지원할 수 있도록 하였다. 이외도 시공간 연산자 및 프로젝트 연산자 확장으로 기존의 복잡한 함수 유형의 사용자 인터페이스에서 일관된 SQL 유형의 시공간 질의를 지원하므로 질의의 효율성과 편리성을 제공하였다. 뿐만 아니라 이 연구결과는 시공간 데이터 모델의 프로토타입 구현으로 실질적인 시공간 데이터베이스 연구의 중요한 기초 연구자료로의 활용이 기대되며, 앞으로는 시공간 데이터베이스 색인 및 저장 구조와 시공간 조인 연구, 시공간 질의 최적화 등의 후속 연구로 하여금 시공간 시스템의 복잡한 질의에 따른 성능저하의 방지등이 필요하다.

참 고 문 헌

- [1] J. F., Allen, "Maintaining Knowledge about Temporal Intervals," Communications of the Association of Computing Machinery, Vol. 26, No. 11, pp. 823-843, Nov. 1983.
- [2] Walid G. Aref and Hanan Samet, "Extending a DBMS with Spatial Operations", In Lecture Notes in Computer Science, Springer-Verlag, Vol. 525, pp. 299-318, 1991.
- [3] G. Ariav, "A temporally oriented data model", ACM Trans. on Database Syst., Vol. 11, No. 4, pp. 450-527, Dec. 1986.
- [4] Michael Belden, Christian S. Jensen, and Jørn Eklund, "Spatio-Temporal Database Support for Legacy Applications", A Time Center Technical Report TR-20, Jul. 9, 1997.
- [5] Tsz S. Cheng and Shashi K. Gardia, "A pattern matching language for spatio-temporal databases", CIKIM'94,

- pp. 287-295, 1994.
- [6] C. Claramunt, "Managing Time in GIS: An Event-Oriented Approach", Recent Advances in Temporal Databases, Workshops in Computing series, Edited by J. Clifford, and A. Tuzhilin(eds) (Berlin: Springer-Verlag), pp. 23-42, 1995.
- [7] J. Clifford and D. S. Warren, "Formal semantics for time in database", ACM Trans. Database System, Vol. 8., No. 2, pp. 214-254, June 1983.
- [8] Max J. Egenhofer, A. Frank and J. Jackson, "A topological data model for spatial databases", In Lecture Notes in Computer Science 409: Proc. 11st Symp. SSD, Springer-Verlag, Berlin, pp. 271-286, 1988.
- [9] Max J. Egenhofer, "Spatial SQL: A Query and Presentation Language", IEEE Tran. on Knowledge and data engineering, Vol. 6, No. 1, pp. 86-95, Feb. 1994.
- [10] R. Elmasri and S. B. Navathe, Fundamentals of Database Systems, second edition, the Benjamin/Cummings Pub. Com., Inc, 1994.
- [11] ESRI, Introduction to SDETM, Environmental Systems Research Institute, Inc., 1996.
- [12] O. Guenther, Efficient Structures for Geometric Data Management, Springer, Berlin, 1988.
- [13] R. H. Guting, "Gral: An extensible database system for geometric applications", Proc. of the 15th international conference on VL DB, Amsterdam, pp. 33-43, 1989.
- [14] C. S. Jensen, M. D. Soo, and R. T. Snodgrass, "Unifying temporal data models via a conceptual model", Information Systems, Vol. 19, No. 7, pp. 513-547, 1994.
- [15] Dong Ho Kim and Keun Ho Ryu, "A study on the spatiotemporal aggregate functions", Proc. of the SIGDB/KISS, Vol. 13, No. 1, pp. 27-31, 1997.
- [16] G. Langran, Time in Geographic Information Systems, London: Taylor & Francis, 1992.
- [17] Jong Yun Lee and Keun Ho Ryu, "A Time Support Model in Geographic Information System", Proc. of the 8'th KISS Fall Conference Region Chung-cheong, Vol. 8, No. 1, pp. 287-292, 1996.
- [18] V. Lum, P. Dadam, R. Erbe, J. Guenauer, P. Pistor, G. Walch, H. Werner and J. Woodfill, "Designing DBMS support for the temporal dimension", In Proceedings of the SIGMOD'84 Conference, (New York: ACM), pp. 115-126, 1984.
- [19] D. Peuquet and N. Duan, "An event-based spatiotemporal data model(ESTDM) for temporal analysis of geographical data", Information Systems, Vol. 9, No. 1, pp.7-24, 1995.
- [20] Nick Roussopoulos, Christos Faloutsos, "An Efficient Pictorial Database System for PSQL", IEEE Tran. on Software Eng., Vol. 14, No. 5, pp. 639-650, May 1988.
- [21] R. T. Snodgrass, The TSQL2 temporal query language, Tucson AZ: Kluwer Academic Publishers, 1995.
- [22] A. U. Tansel, "Adding time dimension to relational model and extending relational algebra", Information Systems, Vol. 11, No. 4, pp. 343-355, 1986.
- [23] Michael F. Worboys, "A Unified Model for Spatial and Temporal Information", the Computer Journal, Vol. 37, No. 1, 1994.
- [24] May Yuan, "Temporal GIS and Spatio-temporal Modeling", the 3rd international conference/workshop integrating GIS and environmental modeling, Jun. 21, 1996.
- [25] 남광우, 김동호, 류근호, "시공간 데이터베이스 연산자", 한국정보처리학회 춘계 학술발표논문집, 제 3권, 3호, pp.618-621, 1996.

- [26] 김태영, 이종연, 김효실, 류근호, "지리정보 시스템에서 시공간 위상관계 연산의 설계 및 구현", 한국정보처리학회 97 추계 학술발표논문집, 제 4권, 2호, pp. 493-497, 1997.
- [27] 이종연, 김태영, 박상열, 류근호, "사건기반 시공간 연산자의 설계", 한국정보과학회, '97 동계 데이터베이스 학술대회 논문집, 제 13권, 1호, pp. 38-43, 1997.



김 동 호

- 1993년 충북대학교 전자계산학과 (이학사)
- 1995년 충북대학교 대학원 전자계산학과(이학석사)
- 1997년 충북대학교 대학원 전자계산학과 박사수료

1997년 한국전자통신연구원 위촉연구원
 관심분야 : 시간지원 데이터베이스, 시공간 집계처리, 멀티미디어 시스템



이 종 연

- 1985년 충북대학교 전자계산학과 (학사)
- 1987년 충북대학교 대학원 전자계산기공학과(석사)
- 1998년 충북대학교 대학원 전자계산학과 박사수료

1990년~1994년 현대전자(주) 소프트웨어연구소
 1994년~1996년 현대정보기술(주) CIM사업부 근무 (책임)

관심분야 : 시공간 데이터베이스, 능동 데이터베이스, GIS, CIM



주 영 도

- 1983년 한양대학교 전자통신학과 (학사)
- 1988년 남플로리다대 전산학과 (석사)
- 1995년 플로리다 주립대 전산학과(박사)

1983년~1985년 한국무역협회 전산실 근무
 1996년~현재 한국통신 멀티미디어연구소 GIS/GPS 연구팀장

관심분야 : 데이터베이스, 전문가 시스템, 소프트 컴퓨팅



류 근 호

- 1976년 숭실대학교 전산학과 졸업(이학사)
- 1980년 연세대학교 산업대학원 전산전공(공학석사)
- 1988년 연세대학교 대학원 전산전공(공학박사)

1976년~86년 육군군수 지원사 전산실(ROTC장교), 한국전자통신연구소(연구원), 한국방송통신대 전산학과(조교수) 근무

1989년~91년 Unive of Arizona Research Staff (TemJIS 연구원, Temporal DB)

1996년~현재, 충북대학교 컴퓨터학과 교수, 컴퓨터정보통신연구소장

관심분야 : 시간지원 데이터베이스, 지형관 데이터베이스, DBMS 및 OS, 객체 및 지식베이스 시스템