제약 기반의 공간 데이터베이스 모델링

우성구¹* ⋅ 류근호²

Spatial Database Modeling based on Constraint

Sung Koo-WOO¹* ⋅ Keun Ho-RYU²

요 약

지리정보시스템(GIS)과 같은 대용량 공간 데이터 처리에 대한 새로운 패러다임이 바로 제약 데이터베이스(CDB) 모델이다. 이 논문에서는 기존의 공간 데이터베이스의 관련연구를 통하여 스키마구성 및 질의처리의 한계점을 찾아내고 보다 효율적인 처리방식의 제약 데이터 모델을 제안한다. 제약 데이터 모델의 개념, 표현방법, 질의처리의 예를 제시했으며, 특히 평면자료에 높이를 표시하는 불규칙 삼각망(TIN)을 제약 데이터 모델로 표현하고, 기존 공간 데이터 모델과 비교 평가했다. 우리는 제약 데이터모델링을 통하여 단순하고 우아하게 형식화할 수 있다는 것을 확인하였다.

주요어: 제약 데이터베이스, 공간 데이터베이스, GIS응용, TIN

ABSTRACT

The CDB(Constraint Database) model is a new paradigm for massive spatial data processing such as GIS(Geographic Information System). This paper will identify the limitation of the schema structure and query processing through prior spatial database research and suggest more efficient processing mechanism of constraint data model. We presented constraint model concept, presentation method, and the examples of query processing. Especially, we represented TIN (Triangulated Irregular Network) as a constraint data model which displays the height on a plane data and compared it with prior spatial data model. Finally, we identified that we were able to formalize spatial data in a simple and refined way through constraint data modeling.

KEYWORDS: Constraint Database, Spatial Database, GIS Application, TIN

²⁰⁰⁹년 1월 22일 접수 Received on January 22, 2009 / 2009년 3월 21일 수정 Revised on March 21, 2009 / 2009년 3월 25일 심사 완료 Accepted on March 25, 2009

^{*} 이 논문은 2009년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. R11-2008-014-02002-0)(PTERC).

¹ 충북대학교 데이터베이스 연구실 DataBase laboratory, Chungbuk National University

² 충북대학교 전기전자컴퓨터공학부 교수 Professor, Dept. of Electrical and Computer Engineering, Chungbuk National University

[※] 연락저자 E-mail: wsk527@naver.com

1. 서 론

지리정보시스템과 같은 대용량 공간 데이터 처리에 대한 새로운 패러다임이 바로 제약 데 이터 모델이다. 1990년에 Kanellakis 등을 통 하여 그 이론이 발표되었으며, 관계 데이터베 이스(Relational Database, RDB)에서 제약의 논리적인 접속으로 구성된 투플 표기의 대치 가 가능하기 때문에 관계모델을 다양한 방법 에 의해서 여러 형태로 그 응용을 확장할 수 있다.

특히 제약 데이터 모델에서의 질의처리 표현은 관계 데이터 모델에서와 마찬가지로 관계해석 및 관계대수와 같은 질의 언어들의 접근이 가능하며, 그 질의처리 결과는 제약 데이터 모델을 출력할 수 있는 단힘(closure)의 특징이 있음을 알 수 있다(Kanellakis 등, 1994), (Kanellakis 등, 1995).

이 논문에서는 기존의 공간 데이터베이스의 대표적 응용 분야인 GIS 시스템을 위주로 전 개되었으며, 제약 데이터 모델링에 대한 그 정 의와 공간 데이터의 일반화된 투플 표현 및 내포된 일반화 관계대수(NGRA)에 대하여 간 략한 표로서 정리하여 제시하였다. 그리고 제 약 질의 언어를 사용하여 질의처리의 예를 표 현해 보았다.

제약 데이터 모델링 프로토타입은 다양한 종류가 있으며, 그 중에서 순수한 제약 데이터 모델인 MLPQ/PReSTO 도구를 선택하여 ARC/VIEW와 기본 기능을 수행하는지 비교 분석해 보고, 그 도구를 이용하여 제약 데이터를 표현해 보았다. 특히 수치표고를 나타내는 불규칙 삼각망(Triangulated Irregular Network, TIN)에 대한 제약 데이터 표현 방법을 정리하고, 제약 데이터베이스(Constraint Database, CDB) 응용에 대한 기대 효과를 제시하였다.

우리는 제약 데이터 모델링을 통하여 동일 프레임워크 상에 간결한 제약식을 사용함으로 서 공간 데이터를 자연스럽고 효과적으로 처 리할 수 있다는 것을 제시하고자 하였다. 2장 에서는 공간 데이터 구조의 표현과 질의를 살펴보고, 기존 모델의 한계 및 문제점을 고찰하였다. 3장에서는 공간 데이터 구조에 대한 제약식 표현 기법을 기술하였다. 4장에서는 제약데이터 모델링과 SQL 질의 언어를 통해서 제약 질의의 관련된 내용을 기술하였다. 그리고 5장은 이들 제약 데이터 표현과 응용 및 제약데이터 모델에 대한 효과를 분석하고, 마지막으로 6장에서는 결론을 맺었다.

2. 관련 연구

GIS에서 데이터베이스 관리체계의 특징은 공간 데이터와 속성 데이터를 연결하여 데이터베이스를 안전하고 효율적으로 사용할 수 있도록 구성되었으며, 공간 데이터는 보안성, 정확성, 동시성, 독립성, 중복의 최소화 및 효율성 등을 확보할 수 있어야 한다(송인성 등, 1998).

2.1 공간 데이터의 표현과 벡터데이터 저장 모델

지리 현상을 컴퓨터에 저장하기 위한 기본적인 지리요소 유형에는 점(point), 선(line), 면(polygon)의 세 요소가 기본적으로 사용된다. 추가적인 공간 정보에는 표면(surface)이라는 3차원 정보가 있으며, 이를 위해서는 위치 정보를 x, y, z 좌표에 의해 저장해야 한다. GIS 응용에 따라서는 높이 자료를 z좌표가 아닌속성에 저장 할 수도 있다. 이 경우는 완전한 3차원 표현이 아닌 2.5 차원이라 할 수 있다(김채승 등, 1999), 3차원 표현에는 부정형 삼각형에 의해 지형의 표면을 표현하는 TIN과 래스터(raster) 구조로 지표면을 표현하는 격자(Lattice) 등이 있고, 3차원 데이터는 표고, 경사, 음영기록, 가시권 분석 등에 응용된다.

벡터 데이터(vector data)는 점, 선, 폴리곤 등의 이산 객체 표현 방식이다. 지형물들은 그들 간에 정의된 관계(위상)를 가지며 행위를 취할 수 있다(Elmasri, 2007). 그래서 벡터 구

조는 객체가 공간상 특정 위치에서 방향성과 크기를 가진 형태로 표현되며, 객체의 형상을 이루는 점, 선, 면의 위치를 정확하게 표현하 는 작업이다.

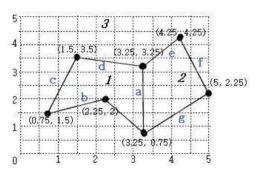


FIGURE 1. 벡터 구조 표현

그림 1의 두 개의 다각형을 스파게티 모델 로 표현하면 다음과 같다.

polygon 1 : <[3.25, 3,25], [3.25, 0.75], [2.25, 2], [0.75, 1.5], [1.5, 3.5], [3.25, 3.25]>

polygon 2 : <[3.25, 3.25], [3.25, 0.75], [5, 2.25], [4.25, 4.25], [3.25, 3.25]>

위상(토폴로지) 모델은 전체의 벡터 구조를 각각의 점, 선, 면의 단위원소로 분류하여 각각의 원소에 대한 형상, 인접성, 계층성에 관한 정보를 파악하고 각 원소간의 관계를 효율적으로 정리한 모델이다. 다각형은 주어진 형상에서 면적과 주변의 길이를 계산할 수 있다. 다각형의 형상을 정확히 파악하기 위해서는 우선적으로 다각형을 형성하는 각 노드에 대한 x, y 좌표가 확인되어야 한다. 그 다음 각각의 점으로 연결된 호(arc)의 길이가 계산될수 있으며, 다각형의 주변 길이와 면적의 정확한 산출이 가능하다. 그림 1의 두 개의 다각형을 위상 모델로 다음과 같이 표현할 수 있으며, 그 일부 내용을 기술하면 다음과 같다.

region: <face 1, face 2>

face 1 : <a, b, c, d>

face 2 : <a, g, f, e>

arc b: [node 1, node 2, face 1, face 3,

<[2.25, 2]>]

node 1 : [3.25, 0.75, <a, b>] node 2 : [0.75, 1.5, <b, c>]

2.2 공간 데이터베이스 스키마와 질의 처리

공간 데이터베이스를 위한 간단한 도로 네 트워크를 표현하고 그들에 대한 공간질의를 살펴보기로 한다. 먼저 도로 네트워크에 대한 스키마를 구성해 보면 다음과 같다.

Roads (id: integer, name: string)

Sections (number: integer, number_of_lane: integer, road_id: integer, geometry: line)

Towns (name: string, geometry: region) 위 스키마를 살펴보면, 도로는 두 개의 속성을 가진 릴레이션 Roads로 표현되었으며, 도로 식별자와 도로 이름으로 구성되었다. 또한도로에는 Sections이라는 도로구역 릴레이션과 그 릴레이션에는 구역번호, 차선의 수, 도로식별자, 선(line)형태의 기하 공간속성으로 구성되었다. 마지막으로 도시 릴레이션 Towns는 도시이름과 공간속성 형태를 표현할 수 있는 영역으로 구성되었다. 기하 공간속성에 있는 line과 region은 다음 추상데이터 타입의연산을 제공하였다.

Type region

PointinPolygon: region x point -> bool (한 점이 영역에 속해 있는가?)

AdjacentRL : region x line --> bool (영역과 선 사이에 인접성 테스트)

IntersectionRL : region x line --> line (영역 내부에 선 부분을 계산)

Type line

PontinLine : line x point -> bool (점 이 선에 속해 있는가?)

Length : line -> real (선의 길이를 계산) intersectLR : line x region -> bool

(영역에 선이 교차되었는가?)

공간 질의의 예들을 살펴본다.
- 34번 도로를 화면에 그려보려면,
SELECT Sections.geometry
FROM Sections, Roads
WHERE Roads.name = 'N34' AND
Roads.id = Sections.road_id;

- 화면상에 선택한 도로를 기술하면, SELECT Roads.name, Roads.id FROM Sections, Roads WHERE Roads.id = Sections.road_id AND PointinLine(Sections.geometry, @point);
- 성환읍 내에 34번 도로를 화면에 나타내라.
 SELECT IntersectionRL(Sections. geometry, Towns.geometry)
 FROM Sections, Roads, Towns
 WHERE Roads.id = Sections.road_id
 AND Towns.name='성환읍'
 AND Roads.name = 'N34'
 AND IntersectLR(Sections.geometry,
 Towns.geometry);
- 성환읍 주변의 도로이름은?
 SELECT Roads.name
 FROM Sections, Roads, Towns
 WHERE Roads.id = Sections.road_id
 AND Towns.name='성환읍'
 AND adjcentLR(Towns.geometry,
 Sections.geometry);

2.3 기존 공간 데이터베이스 모델의 한계점

공간 데이터베이스 스키마와 질의처리에서 기존 모델의 몇 가지 한계점을 도출해 낼 수 있다. 우선 공간속성과 비공간속성은 동일한 방법으로 모델링되지 않았다. ERSI사 Arc/View의 경우 벡터자료의 공간과 비공간속성을 저장하는 Shape file은 ①지리요소의 기하학적위치정보를 저장하는 좌표파일(*.shp), ②지리요소의 기하학적 정보에 대한 색인 정보를 저장하는 색인파일(*.shx), ③지리요소의 속성정

의를 저장하는 데이터베이스 파일(*.dbf)로 구성되었으며, 각각은 다양한 레이아웃을 만들어서 처리한다. 하나의 관계모델로서 공간 데이터의 통합은 단지 피상적인 일이다. 이러한 공간과 비공간속성에 관련하여 양쪽을 원활하게 표현하기 위해서는 동등한 프레임워크가 요구되었다.

공간의 의미는 단지 연산 기호의 집합으로 표현되었다. 화면에서 지점을 선택한 점질의, 인접 질의, 교차 질의 예와 같이 분명한 질의의 의미를 표현하기 위해서는 풍부한 프레임워크를 가져야 한다. 예를 들면, 점 질의에서 point는 특정 좌표의 의미를 가지고 있는데, 그에 관련된 Towns, Selections와 같은 질의의미에 따라서 선이나 면으로 지칭되어졌다.

기존 모델에서는 차원(dimension) 확장이어렵게 되어 있다. 시간요소를 감안하는 등의 3차원 응용을 위한 연산이 가능하도록 하려면, 새로운 추상 데이터 타입으로 세팅하는 작업이 추가되어야 한다. 즉, 2차원에서 3차원으로 확장하고자 할 때 3차원을 제공하는 프레임워크가 요구되었다.

이러한 한계점을 해결하기 위해서는 공간 데이터와 비공간 데이터 간에 조화롭게 표현 할 수 있는 잘 정의된 프레임워크가 갖추어 져야 한다. 그리고 사용자에게 편리한 질의를 제공하기 위해서는 선언적 질의와 같은 방식 의 언어가 필요하다. 이러한 대안으로 제안된 모델이 바로 제약 데이터 모델이다.

3. 제약 데이터의 개념과 그 표현

제약 데이터 모델은 RDB에서 공간 데이터를 표현함에 있어서 무한 릴레이션을 다루는 능력이 존재하지 않음을 착안하여, 그 무한 관계를 다루기 위한 것을 주요 목표로 두었다. 그 결과 기존 공간 데이터에서 그 표현이 가능하고 순수한 관계 언어를 이용하여 공간 질의 표현이 가능하도록 했다. 또 하나의 강점은 통일된 프레임워크에 임의 차원의 데이터를

표현하고 다루는 능력이 가능하도록 했다.

만약 공간상의 무한한 점들을 다룰 수 있는 모델을 갖는다면, 간단하게 공간 데이터의 모 델을 만들 수 있으며, 무한 점 좌표에 대한 유 한한 표현을 할 수 있다.

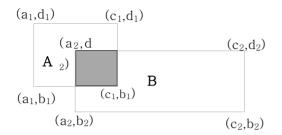


FIGURE 2. 두 개의 직사각형

그림 2와 같이 두 개가 일부 겹쳐진 직사각 형에 대한 이름과 좌표에 관한 공간 데이터를 저장한 릴레이션은 표 1과 같다.

TABLE 1. 두 개 직사각형 릴레이션 R

n	a	b	С	d
A	a_1	b_1	c_1	d_1
В	a ₂	b_2	C2	d_2

위의 릴레이션에 전형적인 질의 "릴레이션에 점 (x, y)이 존재하는가?"를 관계해석 질의로서 표현하면,

Q1 \equiv $\exists n \exists a \exists b \exists c \exists d \ (R(n,a,b,c,d) \land a < x < c \land b < y < d)$ 이며, 또 다른 질의의 예는 "내부가 꽉 찬 사각형의 교차 연산을 하여서 그 구분되는 사각형의 모든 쌍(n, n')을 출력하라"는 질의를 했을 때, 해석 질의는,

Q2 \equiv {(n, n') $\exists a \exists b \exists c \exists d \exists a' \exists b' \exists c' \exists d'$ (n \neq n'

∧ R(n, a, b, c, d) ∧ R(n',a',b',c',d')∧ intersects(a, b, c, d, a',b',c',d')}으로 표현된다.

여기서 intersects(a, b, c, d, a',b',c',d')는 n과 n'의 교차된 사각형에 해당되는 사실(fact)의 표현 이다. 그런데 이 교차(intersect)라는 프레디키트 (predicate)를 다음같이 ∃x∃y(a≤x<c ∧ b<y<c ∧ a'<x<c' ∧ b'<y<d') 로 표현하면, 이 식은 작동하지 않는다. 그 이유는 RDB 모델의 정 량자의 값 x, y가 존재하지 않기 때문이다. 좀 더 복잡한 지리객체를 고려할 때 문제를 해결하는 방안으로서는 사각형내의 모든 점의 좌표를 포함하는 개념이다(Kuper 등, 2000).

 $\begin{array}{cccccc} Q1 \equiv & R(x, \ y) \\ & Q2 \equiv \{(n1,n2) & | & n1 & \not\equiv & n2 & \wedge & \exists \ x \ \exists \\ & y(R(n1,x,y) & \wedge & R(n2,x,y))\} \end{array}$

제약 데이터(constraint data)는 데이터의 처리방식이나 표현방식에 제한을 가하는 조건으로 그 표현방식은 주로 일차술어논리(first order logic, FOL)이며, 식은 DNF(Disjunctive Normal Form, 선언표준형)로 표기했다.

(정의 1) 어떤 제약이론의 원자적 제약집합을 요로 놓으면, 일반화된 변수 x1,...,xk 상의 k 투플의 형태는 r(x1,...,xk):- Ø1∧...∧Øn이다(Kanellakis 등, 1994), (Kanellakis 등, 1995), (Chomicki 등, 2001). 여기서 r은 릴레이션 심볼이며, 그리고 1≤i≤n 범위의 Øi∈Φ, 그리고 변수 x1,...,xk를 사용한다. arity k와 함께일반화된 보 릴레이션 r은 왼편에 심볼 r로서일반화된 k 투플의 유한집합이다.(일반화된 릴레이션 모델)

(정의 2) D를 변수로 해석된 도메인이라고 하자. 그러면 변수 x1,...,xk로서 일반화 된 k투 플 t모델은 제한없는 k차 릴레이션 {(a1,...,ak) : (a1,...,ak)∈Dk, 그리고 xi를 ai로 대치하므로 서 오른편 t를 만족한다} 이다(Kanellakis 등, 1995)(Chomicki 등, 2001).

일반화된 릴레이션 모델은 그와 관련된 일반 화된 투플 모델의 합집합이며, 일반화된 데이터 베이스 모델은 그와 관련된 일반화된 릴레이션 의 집합이다. 다음 제약 클래스를 살펴보면,

- 선형 산술 제약 형태 : alx1+,...,+akxk θ
 b에서 ai와 b는 유리수 상수이고, xi는 유리수의 숫자형 변수이다. 그리고 여기서 θ는 =, <, >, ≤, ≥ 중에 하나이다.
- 정수 순서제약 t1θt2, t1과 t2는 변수 혹 은 상수이다(θ는 =, <, >, ≤, ≥ 중에 하 나임).
- 다양한 도메인의 등식제약 t1=t2, t1과 t2 는 변수 혹은 상수이다.

(정의 3) 릴레이션이 있는 일반화된 데이터 베이스 클레스 형태는, a1(x1)∧...∧an(xn) ∧ γ(x, y)이다.

이 형태는 스파게티 데이터 모델을 제약식으로 나타내는 기본적인 표현이며, $\gamma(x,y)$ 에 의해 닫혀 있고, 경계가 지어져 있는 평면 객체로 묘사된다. 선형산술제약과 함께 일차술어논리로서 정의할 수 있다.

공간 데이터의 다항식 제약은 대량의 클래스로서 공간객체를 표현하며, 또한 질의표현도 해야 한다. 그러나 계산의 복잡성으로 아주 높은비용이 소요된다. 반면에 선형제약은 보다 더다루기가 쉽고, 그것을 해결하기 위한 효율적인알고리즘이 이미 존재한다(Kuper 등, 2000).

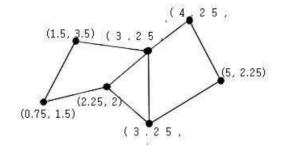


FIGURE 3. 볼록 다각형으로 세분화 한 모양

그림 3은 그림 1의 벡터 구조 표현을 제약 표현식으로 나타내기 위하여 볼록다각형으로 세분화 한 형태이다. 그리고 이것을 앞에서 언급한 (정의 1),(정의 2) 및 (정의 3)에 근거하여 표 2와 같이 제약식으로 표현할 수 있다.

4. 제약 데이터 모델링과 질의처리

4.1 제약 데이터 모델링의 기존 연구

제약 데이터 모델은 1990년에 발표되어서 1995년에 완성된 버전을 갖춘 논문(Kanellakis 등, 1995)이 발표되었다(Rigaux등, 2001). 다차원 공간데이터의 표현을 반평면 공간을 사용하여 다차원 공간의 표현을 하는 논문들은 이미 그 전에 제안되었다(Gunther 등, 1987).

CDB에서 제약의 통합을 위한 이론적 프레임워크는 이미 (Kanellakis 등, 1995)의 논문에서 제시되었다. 그 논문은 제약 질의 언어는 관계해석이나 데이터로그(Datalog)로서 상이한데 가지 제약 클레스를 추가하여 이론적으로

TABLE 2. 세분화 한 볼록다각형의 제약식 표현

convex(1, x, y) :=

 $4x-12y \le -5 \land -16x+6y \le 3 \land 2x+14y \le 52 \land 20x-16y \le 13$

convex(2, x, y) :=

 $-20x+16y \le -13 \land 20x+16y \ge 77 \land 4x \le 13$

convex(3, x, y) :=

 $4x >= 13 \land -x+y <= 0 \land 32x+12y <= 187 \land -24x+28y >= -57$

만족함을 제시하였다. 이 논문에서는 각 클래 스의 특성에 대한 증명과 질의의 복잡성 평가 에 대해서 연구되었다.

(Kanellakis 등, 1994)의 논문에서는 관계대수를 통하여 프로젝션, 실렉션, 자연조인, 합집합 등의 연산을 구체화하여 상세하게 논의했다. 이 논문에서 제안된 관계대수는 절차적인언어이기에 효율적인 질의처리에 쉽게 응용할수 있었다.

그 후 공간데이터를 위한 확장된 질의 언어가 제안되었으며, 또한 유클리드 평면에 점집합의 표현을 위한 해석적 표현과 일반화된 투플 표현을 체계적으로 정리하여 제안하였다. (Belussi 등, 2000).

최근 CDB는 시간, 공간, 시공간, 이동객체 등 다양한 분야에 연구되어왔으며, 특히 중요한 응용 분야는 GIS와 공간 데이터베이스이다 (Bank 등 2007).

현재까지 GIS 질의처리와 관련하여 CDB의 프로토타입(prototype)을 살펴보면, 선형제약 모델을 기반으로 최초로 구현한 것은 INRIA의 VERSO그룹과 CNAM의 VERTIGO그룹과의 합작 DEDALE이며 O2-DBMS 상에서 구현되 었다(Grumbach 등, 1998), (Kuper 등, 2000).

그리고 DISCO(Datalog with Integer Set COnstraints)는 미국 Nebraska대학에서 개발했으며. DATALOG(Database Logic Program)로 구현했고, 정량자 제거 기술을 이 시스템에서 사용했다. 또한 DOAS(Drought Online Analysis System)는 시공간 데이터베이스의 표현과, SQL 및 순환연산이 가능한 시스템이다. 순수한 CDB 모델에는 대수질의를 응용한 CDB/CQA와 논리프로그래밍을 위주로 한 MLPQ가 있다 (Kanellakis 등, 1994), (Golden, 2004).

특히 MLPQ/PReSTO (Management of Linear Programming Queries and Parametric Rectangles Spatio-Temporal Objects)시스템은 미국 Nebraska-Lincoln 대학에서 개발되었으며, GIS 및 웹 응용의 시뮬레이션이 가능토

록 한 시스템이다(Revesz 등, 2000), (Revesz, 2004). 이것은 기존 개발된 여러 프로토타입 (prototype) 중에서 순수 CDB 모델로 개발된 것이다(Golden, 2004). 현재 유일하게 공개된 MLPQ 도구(ver 3.1)에서는 합집합(∪) 연산자는 수행되나 교집합(∩) 연산자는 아주 간단한 것만 처리되는 상태이다.

(Annalisa. 2002)의 논문은 시간 및 공간 데이터에 대한 객체 지향 모델을 오라클을 이용하여 제안했다. DEDALE 프로토타입을 이용하여 제약 기반의 공간 데이터 시스템의 구축에 관한 모델, 질의, 구현이 제안되었다(Rigaux 등, 2003). 즉, DEDALE은 CDB 모델을 이용하여 시공간 데이터를 모델링하고 질의 처리를 하기 위해 개발된 시스템이다.

시공간 제약 데이터 모델을 응용한 역학적인 추론의 응용(Revesz 등, 2006)과 CDB 기반의 시공간 지리 데이터에 대한 보간 방법이제안되었다(Li 등, 2004), (Gao 등, 2006). 이러한 연구는 외국에서 미국, 독일, 중국 등을 중심으로 그간 심포지엄에서 논문들이 꾸준히발표되어 왔으나, 국내에서는 이 분야에 게재된 논문이 전혀 없는 실정이다.

4.2 CDB 모델

기존의 RDB의 계층구조와 CDB의 계층구조 간에 관계를 살펴보면, RDB에서는 논리계층과 물리계층으로 분류되지만, CDB의 경우는 3개의 계층, 즉 추상적 논리계층, 구체적논리계층, 물리계층으로 분류된다.

CDB의 추상적 논리계층은 유한하거나 무한 성이 있는 추상 릴레이션이며, 사용자는 릴레 이션의 크기에 대한 한계는 고려하지 않아도 된다. 사용자는 데이터베이스를 투플들이 저장 된 테이블들의 집합처럼 볼 수 있다.

표 3은 실질적인 지리 데이터베이스에서 공간 데이터의 예를 보여주는 것으로서 유클리드 평면에 한정되어 있다. 먼저 세 가지 형태인점(point), 선(segment), 다각형(convex)의 일반

화 된 투플 표현(ΦL)은 (정의 1)에서 언급한 것과 같이 일반화된 릴레이션과 부합된다.

CDB의 질의처리기는 일차술어논리를 근간으로 만들어졌으며 선언적인 방법을 제공한다. 절차적 질의 언어의 대표적인 언어는 관계대수 언어이다.

4.3 제약 데이터 질의처리의 예

질의어는 일반적인 속성과 내포된 릴레이션에 관한 속성들을 동시에 잘 정제하여 표현할수 있어야만 한다. CDB와 관련된 질의문의예를 (질의 1)부터 (질의 4)까지 설명한다. SQL 표준구문규칙에 약간의 변형이 있음을

볼 수 있다. 우선 질의와 관련된 개체에 대한 스키마의 내용은 다음과 같다.

City(city_code: integer, city_name: string, Province_code: integer, population: integer, geometry: (x, y))

Province(province_code: integer, province_ name: string, population: integer, geometry: R(x, y))
Highway(highway_code: integer, highway_name: string, highway_type: string)
HighwaySection(section_code: integer, section_number: integer, highway_code: integer)

Section(section_code: integer, section_ name: string, number_lanes: integer, city_start: integer, city_end: integer, geometry: R(x, y))

TABLE 3. 유클리드 평면의 점집합의 표현(Belussi 등, 2000)

 그래픽 표현	테셔져 표칭	이비하다 토프 표칭(ㅎ)
	해석적 표현	일반화된 투플 표현(Φ _L)
점(PONIT, p) • p	p = (x, y)	$\begin{array}{cccc} C_{point}(p) &\equiv & (X - x = 0) & \land \\ & (Y - y = 0) & \land \\ & (N = c_{id}) & \end{array}$
선(SEGMENT, s)		$ \begin{array}{l} C_{segment}(s) \; \equiv \\ (x_1{-}X{\leq}0) \; \wedge \; (X{-}x_2{\leq}0) \; \wedge \\ (aX \; + \; bY \; + \; c \; = \; 0) \; \wedge \\ (N \; = \; c_{id}) \end{array} $
다각형(CONVEX, c) $P_n \begin{pmatrix} r_i \\ r_n \end{pmatrix} P_t$ $P_1 r_0$	$ c = [P_i = (x_i, y_i) \\ r_i : a_i X + b_i Y \\ + c_i = 0 \\ i = 0,,n] $	$\begin{array}{l} C_{convex}(c) \equiv \\ (sign(P_1,P_2)(a_1X+b_1Y+c_1) \geq 0) \\ \wedge \ \ \wedge \\ (sign(P_{n-1},P_n)(a_nX+b_nY+c_n) \geq 0 \\ \wedge \ (N \ = \ c_{id}) \end{array}$
혼합형 (COMPOSITE, csp)	$\begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$ \begin{array}{l} C_{composite}(csp) \equiv \\ \{C_{point}(p_1) \vee N = c_{id},, C_{point}(p_n) \vee N = c_{id}\} \\ \vee \\ \{C_{segment}(s_1) \vee N = c_{id},, C_{segment}(s_n) \vee N = c_{id}\} \\ \vee \\ \{C_{convex}(c_1) \vee N = c_{id},, C_{convex}(c_n) \vee N = c_{id}\} \end{array} $

주) cid는 객체 식별자를 나타내는 숫자 상수, convex의 경우 모든 제약식은 ≥ 표시로 통일함 따라서 직선의 기울기에 따라서 sign이 필요함, 혼합형은 논문(∧에서 ∨로 정정함)

Land_Use(region_name: string, land_use_type: string, geometry: R(x, y))

위에서 City 테이블을 SQL의 DDL(Data Definition Language)구문으로 표시하면 다음과 같다.

Create Table City

(city_code integer,
 city_name varchar2(30),
 province_code integer,
 population integer,
 geometry R(x, y),
 Primary key (city_code),
 Foreign key (province_code) References
 Province)

(**질의 1**) 청주시를 통과하는 모든 고속도로 를 검색하라.

Select Distinct h1.highway_name
From s1 in City, h1 in Highway, h2 in
HighwaySection, s2 in Section, p1 in
s1.geometry, p2 in s2.geometry
Where s1.city_name = '청주시' and
h1.highway_code = h2.highway_code
and h2.section_code = s2.section_code
and p1.x = p2.x and p1.y = p2.y

위의 질의에서 highway_code와 section_code의 조인은 일반 속성에 대한 표준 관계형 조인이지만, City.geometry와 Section.geometry 사이의 조인은 두 개의 geometry에 대한 최소한 하나의점을 공유하는 highway의 section을 선택하는방식의 질의이다. 위의 질의 결과는 '경부고속', '중부고속' 등의 highway_name이 검색된다.

(**질의 2**) 강원도의 모든 주거지역을 검색하라. Select pl

From c in Province, 1 in Land_Use, p1 in c.geometry, p2 in l.geometry

where province_name = '강원도' and land_use_type = '주거지역' and pl.x = p2.x and pl.y = p2.y

질의의 결과는 Province와 Land_Use의 지리객체 사이의 공통되는 모든 점을 의미하며 Select 절에는 내포된 릴레이션 상의 범위를 갖는 변수 중 하나인 pl을 단순하게 기술했다.

(질의 3) 화면상 지시한 곳이 어느 도(province) 인지 해당 도 이름과 그 인구를 나타내라.

Select province_name, population
From c in Province, p in c.geometry
Where p.x = @point.x and p.y = @point.y

(질의 4) 화면상에 주어진 사각형과 교차하는 도 이름과 그 인구를 나타내라..

Select province_name, population
From c in province, p in c.geometry
Where p.x = @rect.x and p.y = @rect.y

질의 3은 지시하는 포인터에 대해서, 질의 4는 마우스로 그려진 사각형 내에 해당되는 지역을 기술하는 질의이다. x, y좌표의 점을 기준으로 표현하기 때문에 앞에 기존 공간질의에서와 같이 질의내용에 따라 PointinPolygon, PointinLine의 함수를 찾는 번거로움이 없어서질의작성이 용이하고, 제약공간에 x, y 좌표의접근관계의 표현이 명료해 진다.

5. CDB의 응용 및 효과 분석

5.1 ARC/VIEW와 MLPQ/PReSTO

현재까지 CDB 관리시스템으로 연구 개발된 프로토타입에는 가장 최초로 구현한 DEDALE 이 있으며, 순수 모델에는 대수질의를 응용한 CDB/CQA와 논리 프로그래밍을 위주로 한 MLPQ가 있다(Goldin, 2004).

이 중에 순수모델인 MLPQ/PReSTO (Management of Linear Programming Queries and Parametric Rectangles Spatio-Temporal Objects) 시스템은 미국 Nebraska-Lincoln 대학에서 개발되었으며, GIS 및 웹 응용의 시뮬레이션이 가능토록 한 시스템 이다(Revesz, 2004). 그림 4는 표 2의 제약 식을 MLPQ 도구를 이용하여 나타내었다. MLPQ는 간단한 질의 식을 사용한다. 예를 들어 "공원에서 가장 가까운 인터체인지를 찾는" 내부 질의 식은 다음과 같다.

Nearest_Park(id,x,y) :- Park(id, x, y), Buf_Nearest_IC(id1, x, y). (우성구 등, 2001)

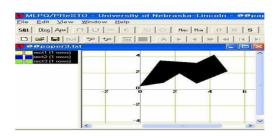


FIGURE 4. MLPQ에 의한 표현

기존 지리정보시스템의 도구 중에 ESRI사에서 보급한 ARC/VIEW 시스템은 국내 (주) 캐드랜드에서 상업용 및 교육용으로 널리 보급되어서 사용해 왔다. 시뮬레이션으로 개발된

TABLE 2. ARC/VIEW와 MLPQ/PReSTO의 기능 비교

구분	ARC/VIEW(ESRI, 1996)	MLPQ/PReSTO
데이터구조	 - 좌표파일(*.shp) - 색인파일(*.shx) - 속성 데이터베이스(*.dbf) - 좌표파일(Shapefile)은 좌표(x,y)형식으로 point, polyline, polygon, multi-point등 지리유형의 값(0~31)에 따라 레이아웃이 상이함 	- 모의실험용으로 포맷된 저장 파일은 없으며, 텍스트(*.txt)파일로 릴레이션 입력 (*,RNG, *.CLR 파일이 생성) - 모든 공간정보는 제약식으로 입력 및 조작됨
공간자료 등록	- 디지타이저 혹은 좌표 값이 입력된 텍 스트 파일, 그리기도구 이용	- 텍스트파일로 작성된 제약식 이 나 Dlog버튼 이용, 그리기도구 (선, 사각형, 다각형) 이용
공간검색 및 측정 기능	 특정지점에서 주어진 범위 요소확인 다른 인접 요소 찾기 (select by) 공간적 결합을 이용한 거리 측정 폴리곤에 포함된 요소 찾기 공간속성간 교차하는 요소 찾기 (shape요소에 따라 조작이 상이함) 	- area, buffer 버튼 이용 - 표준 질의 언어 사용가능 - SQL Query도구상자로 검색
공간분석	 length, area 폴리곤 통합 및 분할 버퍼링 분석 도면접합, 절출, 교집합, 합집합 지도대수 연산(그리드 자료) 	- 교접합, 합집합, 차집합, 여집합 - area, buffer, max, min - approximation - similarity query

CDB시스템 MLPQ/PReSTO 도구가 공간정보 기본 조작기능이 갖추어 있는지를 상용시스템 ARC/VIEW의 기본기능 위주로 표 4에서 개괄적으로 상호 비교해 본다.

MLPQ/PReSTO 도구는 이밖에도 시공간 데이터 및 동적객체와 관련하여 애니메이션 관련 기능, 회귀분석 관련 기능을 가진 GUI버튼들이 있다.

5.2 수치표고자료의 제약 데이터모델

수치표고자료란 수치에 의하여 지형의 상태를 나타낸 자료를 말하며, 지표면에 일정 간격으로 분포된 지점의 높이를 수치로 기록하여분석이 용이하도록 만든 것이다. 일반적으로격자 구조의 자료를 수치로 그 고도를 표현하는 방식을 취하고 있다. 수치표고자료에서는고도 값이 등고선과 같이 불규칙한 데이터를점으로 연결하거나, 주변의 고도 값을 이용하여 격자 값의 고도를 추정하는 방법도 있다.

수치표고자료의 유형으로는 지형을 일정 크기의 격자로 나누어서 높이 값을 기록한 DEM(Digital Terrain Model)이 많이 사용되며, DTM(Digital Terrain Elevation Data) 등도 널리 알려져 있다(김계현, 2000).

DEM은 표고 값을 중심으로 지형을 표현한 모델로서 일정 크기의 격자를 기반으로 이루어진 매트릭스 형태에 표고 값을 저장한 것이며, DTM은 표고 값과 도로, 호수, 강과 같은 지형인자를 나타내는 포괄적인 의미를 지니며, 경사도나 가시도 분석에 많이 사용되는데 주로 TIN의 형식을 취하여 자료를 저장한다. 다중 센서를 통한 이동체 데이터를 획득하는 과정에서 도로 및 도로에 존재하는 시설물은 지표면 위에 존재하기 때문에 지형지물을 추출하기 전에는 반드시 지표면을 표현하는 TIN 생성 과정이 필요하다(김문기 등, 2008).

하나의 TIN에 타일(tile)은 그림 5와 같이 벡터구조로서 삼각형을 구성하는 x, y좌표와 표고를 위한 z값으로 나타낸다. TIN구조로서 지형을 표현하기 위해서는 각 노드에 해당되는 x, y좌표 값을 나타낸 테이블과 각 노드의 높이 값을 나타내는 z좌표 값을 표기한 테이블 그리고 각 삼각형 경계면에 인접한 삼각형 식별자를 저장하는 테이블 및 각 삼각형 식별자는 3개의 꼭짓점에 해당되는 노드 정보를 가진 테이블이 필요했다.

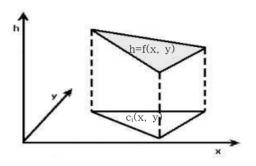


FIGURE 5. TIN의 타일 표현

TIN은 2차원 공간에서 삼각형의 각 vertex 별로 높이를 가지는 삼각형(Ti)은 아래 ①과 같이 표현할 수 있고, 제약 데이터 모델에서의 TIN은 아래 ②와 같이 표현할 수 있다.

- ① TIN의 표현: ci(x, y) Λ h=f(x, y)
 - ci : 2차원에서의 삼각형을 표현
 - h : 높이 함수
 - f: x와 y의 선형 함수
- ② TIN(x, y, h) = \bigvee ti(x, y) Λ h=f(x, y) i
 - 삼각형 Ti는 3개의 부등식의 결합
 을 나타내며 ti(x, y)의 기호 표현
 을 의미한다.

5.3 데이터 모델의 비교 검토

그림 6의 TIN구조는 표고를 추출하여 이들 수치를 삼각형의 연결된 형태에 전체 지형을 표현한 것이다. 그림 7은 그림 6의 TIN구조를 테이블로 표현한 것이며, 그림 8은 제약 데이 터로 표현한 것이다.

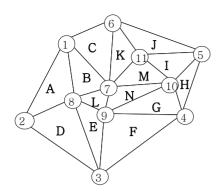


FIGURE 6. TIN구조의 예

х-у 좌표		가장자리		노트	
노드	좌표	삼각형	인접도형	삼각	형 node
1	x1, y1	A	B,D	Α	1,2,8
2	x2, y2	В	A,C,L	В	1,7,8
2550	29.50	l c	B,K	С	1,6,7
10	x10, y10	D	A,E	D	2,3,8
11	x11, y11	E	D,F,L	E	3,8,9
3	4000 MC - 40-40 C-40 C-57 (4)	F	E,G	F	3,4,9
		G	F,H,N	G	4,9,10
200		H	G,I	H	4,5,10
2 좌표		I	H,J,M	I	5,10,11
노드	좌표	J	I,K	J	5,6,11
1	21	K	C,J,M	K	6,7,11
2	22	L	B,E,N	L	7,8,9
100	9665	M	I,K,M	M	7,10,11
10	z10	N	$G_{i}L_{i}N$	N	7,9,10
11	z1 1				

FIGURE 7. TIN구조의 위상표현 테이블

begin%GIS%

 $\begin{array}{ll} \mbox{tin(id,x,y,z)} :- & \mbox{id="A",} \\ 5.9758x + 0.0170875y >= -2997403, \\ -6.98785x + 4.66029y >= 13601502, \\ -1.01205x + 4.67737y <= 10883782, \\ 10.1379x + 1y + 753.242z = -190544. \end{array}$

 $\begin{array}{ll} \mbox{tin(id,x,y,z)} :- & \mbox{id="B",} \\ 1.83777x - 0.632034y >= -1985511, \\ -0.399325x + 3.72669y >= 7996848, \\ 1.43845x + 3.09466y <= 6077301, \\ 15.8587x - 1y + 2863.47z = 38902. \end{array}$

...

tin(id,x,y,z) :- id="M", 7.0977x-4.64253y >= -12062578, 2.08593x+5.97177y >= 11946916, 9.18363x+1.32923y <= 405035,

tin(id,x,y,z) :- id="N", -1.17912x+6.55171y >= 14705482, -2.8987x-1.29384y >= -1130519, -4.07783x+5.25787y <= 13780132,-4.56637x-1y-111.05z = 301416.

13.1407x-1y+2517.48z = -140633.

end%GIS%

FIGURE 8. TIN구조의 제약 데이터 표현

TABLE 5. TIN구조에 대한 비교

기존 공간 데이터 모델

x, y 좌표테이블: 노드별 x, y좌표 표시 11개의 투플

z 좌표테이블: 노드별 z좌표 표시

11개의 투플

가장자리 테이블: 인접 삼각형 식별자정보

위상관계표시 14개의 투플

노드 테이블: 삼각형별 3개의 꼭지점 노드

14개의 투플

제약 데이터 모델

삼각형 및 고도 정보를 표현한 제약식 11개의 투플로 구성되며 단순함

[제약 데이터로 표현된 투플 예] tin(id,x,y,z) :- id="A",

5.9758x+0.0170875y >= -2997403,-6.98785x+4.66029y >= 13601502,

 $-1.01205x+4.67737y \le 10883782,$

10.1379x+1y+753.242z = -190544.

표 5는 기존 공간 데이터모델과 제약 데이터 모델에서의 TIN의 자료구조 표현에 대해서 비교 분석해 보았다. 기존 공간 데이터 모델에서는 여러 테이블에 걸쳐서 구성되었기때문에, 공간연산을 위해서는 복잡한 연산이따른다는 사실을 알 수 있다.

5.4 제약 데이터 모델 활용의 기대 효과

제약 데이터 모델은 현재까지 실무에 적용할 수 있는 완전한 상용제품은 출시되지 않았지만, 그 이론이 제안된 이후 그간 꾸준히 연구되고 이론적인 체계가 정립되어 왔다. 제약데이터 모델은 다음과 같은 점들이 기대 효과가 있다고 본다.

첫째, 대량의 데이터를 간결하게 다룰 수 있다. 공간객체가 무한의 점들로 구성되었다고 가정하면, 공간검색 및 공간분석 연산도 한결용이해 질 것이다. 무한 점집합을 유한한 제약표현으로 간결하게 데이터를 표현하고 조작할수 있다. 비록 공간좌표를 단순하게 넣는 스파게티 모델보다는 제약 모델이 제약식의 연산자들 때문에 조금 더 많은 자료공간을 차지하지만, 공간연산을 처리하는 시간은 스파게티모델보다 제약 데이터모델이 훨씬 빠르다.

둘째, 확장성이 용이하다. 기존 공간 데이터에 TIN 방식의 데이터를 고려할 경우에 기존시스템은 새로운 구조를 추가해야 하지만, 제약 데이터 모델은 고차원 자료처리의 확장도용이하게 할 수 있다. 점차 u-GIS공간정보기술 환경으로 발전함에 따라 지리정보에 실시간 이력정보 및 실시간 이동물체 정보를 효과적으로 다루기 위해서는 단순 2차원에서 3차원, 4차원으로 쉽게 확장이 가능해야 한다.

셋째, 제약 데이터 모델은 기존 관계 데이터 모델을 확장하는 개념으로 응용할 수 있다. 제 약 모델도 기존 관계모델과 같이 릴레이션의 연산 결과는 릴레이션으로 닫혀있다. 추상 논 리 계층을 두어서 기존 표준 SQL을 확장하여 사용할 수 있기 때문에 사용자는 복잡한 논리 언어나 논리식을 인식하지 않고 고급언어로 표현이 가능하다.

6. 결 론

CDB는 기존 공간 데이터베이스에 비하여대량의 데이터를 간결하고 자연스럽게 다룰수 있고 또한 시스템의 확장성이 용이하도록만들어졌다. 공간객체가 무한한 점들로 구성되었다는 개념으로 접근하면, 공간검색 및 공간분석 연산도 한결 용이해 질 것이다. 그것은무한 점집합을 유한 제약조건으로 데이터를 표현하고 조작하기 때문이다.

이 논문에서는 기존의 공간 데이터에 대한 벡터표현 방법을 중심으로 데이터베이스 스키마 및 질의처리에 관한 사항을 고찰하고, 기존 공간 데이터 시스템을 처리하는 과정 중에 몇가지 한계점을 도출했다. 제약 데이터 모델링은 그러한 한계점을 해결할 수 있는 대안 시스템으로 등장한 것이다. 제약 데이터는 데이터의 처리방식 및 표현방식에 제한을 가하는 조건으로 그 표현방식은 주로 일차술어논리이며, 제약식은 DNF로 표기하고 있다.

공간 데이터에 수치표고모델의 TIN 구조 같은 형태를 고려할 경우에 기존의 시스템은 공간 데이터 구조에 새로운 프레임워크를 추 가해야 하겠지만, 제약 데이터 모델은 간단하 게 확장시킬 수 있다.

제약 데이터 모델은 기존 공간 데이터에서 그 표현이 가능하고 순수한 관계 언어를 이용하여 공간 질의 표현이 가능하도록 했다. 또다른 강점은 통일된 프레임워크에 임의 차원의 데이터를 표현하고 다루는 능력이 가능하도록 되었다. 제약 모델도 기존 관계모델과 같이 릴레이션의 연산 결과는 릴레이션으로 닫혀있는 개념이며, 추상 논리 계층에서 기존 표준 SQL을 확장하여 사용할 수 있기 때문에 사용자는 복잡한 논리언어 및 논리식을 인식하지 않고 고급언어로 표현이 가능하도록 구성되었다.

다양한 제약 데이터 모델링 프로토타입 중에 순수한 모델인 MLPQ/PReSTO 도구를 선택하여 ARC/VIEW와의 비교 결과 기본 기능은 갖추고 있었으며, 그 도구를 이용하여 공간데이터를 표현해 보았으며, 특히 TIN과 같은 수치표고모델을 표현할 경우에 간결하고 자연스럽게 처리할 수 있음을 확인했다.

시공간 데이터, 이동객체, 모바일용 지적전산파일의 처리 문제(박성석 등, 2008)와 같은 대용량의 데이터를 효과적으로 처리하는 문제(이용재 등, 2006)는 향후 연구과제로 한다. 그러나 대량의 데이터를 처리할 경우에 제약식의 빠른 인식과 관련된 효율성 향상 문제는 충분히 검토되어야 한다.

참고 문헌

- 김계현. 2000. GIS개론 2판. 대영사. 243-249쪽.
- 김문기, 성정곤. 2008. 지상 이동체 기반의 다중 센서 통합 데이터를 활용한 도로의 3차원 기하정보 추출 에 관한 연구. 한국지리정보학회지 11(3):68-79.
- 김채승, 윤창진. 1999. ESRI ArcView 지리정보 체계. 대영사. 33-253쪽.
- 박성석, 차득기, 서용철. 2008. u-기반 단말기를 위한 지적전산파일의 설계. 한국지리정보학회 지 11(4):1-9.
- 송인성, 문병채. 1998. 도시 및 지역계획가를 위한 지리정보분석기법. 문운당. 3-4쪽.
- 우성구, 문경도, 정지문, 류근호. 2001. MLPQ를 이용한 제약 데이터베이스의 공간 데이터 연산. 한국정보과학회 2001년도 가을 학술발표논 문집 28(2):91-93.
- 이응재, 남광우, 류근호. 2006. 효율적인 차량 궤적 관리를 지원하는 물류관리시스템의 설계 및 구현. 한국지리정보학회지 9(2):30-41.
- 이충호, 안경환, 이문수, 김주완. 2007. u-GIS 공 간정보 기술 동향. ETRI. 전자통신동향분석 22(3):110-123.
- Annalisa D. 2002. Modeling Spatial and Temporal Data in an Object-Oriented Constraint Database Framework. pp.1–136.

- Bank, B. M., j. Eqenhofer and B. Kuijpers. 2007. Constraint Databases, Geometric Elimination and Geographic Information Systems(2007.05.20–2007.05.25, Seminar). pp.1–7.
- Belussi, A, E Bertino, and B. Catania. 2000. Manipulating Spatial Data in Constraint Databases. pp.115-114.
- Chomicki, j., P. Z. Revesz. 2001. Constraint-Based Interoperability of Spatiotemporal Database. pp.1-31.
- Elmasri, R. and S. B. Navathe. 2007. Fundamentals of Database Systems 5th ed. pp.1008-1021.
- Gao, J. and P. Revesz. 2006. Voting Prediction Using New Spatiotemporal Interpolation Methods. Proc. Seventh International Conference on Digital Government Research. pp.293–300.
- Goldin, Q. 2004. Taking Constraints out of Constraint Databases. Applications of Constraint Databases - Paris, France. Electronic Edit. pp.168-179.
- Grumbach, S., P. Rigaux and L. Segoufin. 1998. Spatio-Temporal Data Handling with Constraints. Proceedings of the 6th ACM International Syposium on Advances in GIS. Washington, D.C., USA. pp.106-111.
- Gunther O. and E. Wong. 1987. A Dual Space Representation for Geometric Data. In Proc. Intl. Conf. on Very Large Data Bases(VLDB). pp.501-506.
- Kanellakis, P. and D. Goldin. 1994. Constraint Programming and Database Query Languages. Proc. Int'l Symp. Theoretical Aspects of Computer Software, Lecture Notes in Computer Science 789. pp.96-120.
- Kanellakis, P., G. Kuper and P. Revesz. 1995.
 Constraint Query Languages. Journal of Computer and System Sciences 1995. A shorter version appeared PODS'90, 51(1):26–52.
- Kuper, G., L. Libkin and J. Paredaens. 2000. Constraint Databases. Springer-Verlag. Berlin Heidelberg. pp.1–399.
- Li, L. and P. Revesz. 2004. Interpolation Methods for Spatiotemporal Geographic Data. Journal of Computers, Environment, and Urban Systems, 28(3):201–227.
- Revesz, P. 2004. MLPQ/PReSTO User's Manual.

- University of Nebraska-Lincoln. http://cse.unl.edu/~revesz/MLPQ/Instruction.pdf. pp.1-43.
- Revesz, P. and S. Wu. 2006. Spatiotemporal Reasoning about Epidemiological Data. Artificial Intelligence in Medicine, 38(2):157-170.
- Revesz, P., R. Chen, P. Kanjamala, Y. Li, Y. Liu and Y. Wang. 2000. The MLPQ/GIS Constraint Database System. In Proc. ACM SIGMOD International Conference on Management of Data. 601pp.
- Rigaux P., M. Scholl and A. Voisard. 2001. Spatial Databases With Application to GIS. Morgan Kaufmann Pub. pp.114-147.
- Rigaux P., M. Scholl, L. Segoufin and S. Grumbach. 2003. Building a constraint-Based Spatial Database System: Model, Languages, and Implementation. pp.1-38. KAGIS