

웹 기반 지도대수 처리기에 관한 연구

박기호*

A Study on the Web-based Map Algebraic Processor

Key-Ho Park

요 약

지리정보시스템의 이론적 틀로 인식되고 있는 지도대수(Map Algebra)는 공간자료의 처리단위인 지도레이어를 피연산자로, 여러 처리소프트웨어를 연산자로 모델링하는 대수체계이다. 본 논문에서는 지도대수와 관련된 대표적 선행연구를 검토하여 그 제한점을 밝혀내어 보완하였다. 첫째, 지도 레이어를 함수로 모형화하여 함수 프로그래밍의 메타 함수기능의 적용을 가능하도록 하였다. 이것은 지도대수언어에 메타연산자를 포함시켜 지리정보시스템의 사용자언어에 필요한 프로그래밍 기능을 제공하게 된다. 둘째, 기존 지도대수언어의 어의적·문법적 한계를 분석하고 이를 확장하여 지도 데이터 모델과 지도대수언어를 정형화한 후 지도대수 처리기의 원형을 설계하고 구현하였다. 지도대수언어 구문해석기는 기존의 지리정보시스템이 갖고 있는 실질적인 고유 명령어를 공통언어로 재구성하는 역할을 수행한다. 본 연구를 통해 구현된 맵시(MapSee)는 웹에 기반한 지도대수 처리기로써 본 논문에서 제시된 다양한 지도대수의 개념을 검증할 수 있었다. 지도대수언어를 통한 지리정보시스템의 사용자 인터페이스는 네트워크상에 분산되어 있는 지리정보와 그 처리모듈을 웹 클라이언트라는 간단하지만 강력한 인터페이스로 접근을 가능케 함으로써 인터넷 지리정보시스템의 중요 하부구조로 자리잡을 것으로 전망된다.

ABSTRACT : The "Map Algebra", being recognized as a viable theoretical framework for GIS (Geographica Information System), models map layers as "operands" which are the basic unit of geo-processing, and a variety of GIS commands as "operators." In this paper, we attempt at lifting some limitations of map algebras proposed in GIS literature. First, we model map layer as "function" such that we may employ the notion of meta operator (or, higher-order function) available in the functional programming paradigm. This approach provides map algebraic language with "programmability" needed in GIS user language. Second, we extend the semantics of, and improve on the syntactic structure of map algebraic language. After the data model and language associated with map algebra are formalized, we proceed to design and implement a prototype of map algebraic processor. The parser of the language in our prototype plays the role of transforming the native and heterogeneous user language of current GISs into a canonical map algebraic language.

* 서울대학교 지리학과 조교수(Department of Geography, Seoul National University, San 56-1 Shillim-Dong Kwanak-Ku Seoul, Korea, Tel(02)880-6453)

The prototype, named "MapSee" is a proof-of-concept system for the ideas we proposed in this paper. We believe that the uniform interface based on the map algebraic language will make promising infrastructure to support "Internet GIS." This is because the uniform but powerful interface through the Web clients allow access to both geo-data and geo-processing resources distributed over the network.

서 론

지리정보시스템에서 공간적으로 변하는 속성정보를 처리하고 분석하는 기본단위는 지도이다. 공간자료 처리단위인 지도와 관련된 일련의 공간적 모델링 체계 가운데 하나인 지도대수(Map Algebra, 혹은 Map Layer Algebra)는 지금까지 지리정보시스템을 구성하는 대표적 이론적 틀로 인식되고 있다. 지리정보시스템에서 지도대수는 이미 존재하는 지도들을 통해 새로운 지도를 생성하는 작업으로 파악한다. 한편, 지도대수에서 피연산자(operand)로 공간자료 처리단위인 지도가 이용되며 연산자(operator)로 여러 공간처리함수(spatial operational functions)가 이용된다.

현재 지리정보시스템은 그 이론적 틀이 확고하게 정립되지 못한 상태이며 부분적인 기능을 제공하는 소프트웨어가 체계없이 연결된 상황이다. 이와 같은 문제를 극복하기 위해 지도대수의 측면에서 지리정보시스템의 모형을 찾으려는 연구들이 상당히 이루어져 왔고, 특히 Tomlin(1986)의 연구는 이들 연구의 기초를 제공하고 있다.

그런데 Tomlin이 제시한 지도대수체계와 그 언어는 크게 두 가지 측면에서 한계를 갖고 있다. 첫째, Tomlin 체계 내에서 표현해낼 수 있는 지도정보처리 종류의 제한이며 이것은 어의적(Semantic) 한계에 해당한다. 둘째, 지도대수의 표현언어가 갖고있는 편의성의 한계로 이것은 문법적(Syntactic) 한계에 속한다. 예를 들어, Tomlin 체계에서 지도 레이어의 삭제와 위한 연산자가 정의되어 있지 않다는 것은 어의적 한계에 해당한다. 그리고 여러 단계를 거치는 지도 레이어의 가공처

리 도중에 발생하는 임시(Temporary) 레이어들의 처리, 재귀적(Recursive) 또는 반복(Looping) 구문 등의 부재는 문법적 한계에 해당한다.

지도대수의 어의적 한계는 지리정보시스템의 기능을 축소시키는 결과를 초래하기 때문에 그 확장과 보완이 필요하다. 또한 문법적 한계는 지리정보시스템의 효과적이고 편리한 사용을 위해 개선되어야 한다. 그리고, 지도대수의 명시언어(Specification Language)는 사용자 인터페이스(User Interface)를 결정하는 직접적 요인으로 작용한다. 어떤 시스템이라 할지라도 그 시스템의 사용자 인터페이스를 사용자 차원에서는 그 시스템 자체로 인식할 수 있기 때문에 그만큼 사용자 언어와 직접 관련된 사용자 인터페이스는 매우 중요한 의미를 갖는다. 지리정보시스템 역시 이러한 맥락에서 예외가 아니다.

위에서 지적된 어의적 문법적 한계와 더불어 사용자 차원에서 프로그래밍 기능을 지원하지 않는 점은 Tomlin의 지도대수에서 발견되는 또다른 중요한 한계점이라 할 수 있다. 기본연산자가 5종류로 고정된 관계대수와 달리 지도대수는 그 연산자의 종류가 매우 다양하다. 그런데, 지리정보시스템의 응용분야별로 또는 특정 문제별로 요구되는 연산자들을 미리 파악하여 제공하는 것은 불가능하다. 따라서 확장된 연산자들의 집합을 미리 개발하는 방법보다는 필요에 따라 연산자의 확장을 가능케 해주는 프로그래밍 메커니즘이 필요하다.

최근 지리정보시스템 관련 연구에서 주목할 점은 급진전하고 있는 정보기술을 수용하여 개방형 지리정보시스템(Open GIS)을 개발하려는 시도이다. Open GIS가 추구하는 방향은 현재의 지리정

보시스템의 다양한 처리기능을 컴포넌트화하고 이 컴포넌트의 접근 인터페이스를 위해 표준언어를 사용하는 것이다. Open GIS는 현재 지도정보처리 서비스 인터페이스를 명시하는 하부 체계로서 IDL(Interface Definition Language)을 이용하도록 지침을 내놓고 있다. 하지만 그 상위레벨에 속하는 서비스의 내용이나 그 구성을 위한 지침은 아직 마련되지 못한 실정이다. 지도대수는 지리정보시스템에서 제공하는 각종 서비스를 공통된 체계로 정리할 수 있고, 이러한 맥락에서 지도대수는 Open GIS의 서비스모형을 구체화하는 토대가 될 수 있을 것이다.

연구목적, 방법과 범위

본 연구는 네트워크상의 클라이언트-서버 환경에서 지도대수의 구문을 사용자 언어로 갖는 분산 웹 기반의 지리정보시스템을 개발하는데 목적을 둔다. 구체적으로 첫째, 지도 레이어 데이터 모델을 설정한다. 이를 위해 지도대수와 관련된 선행 연구를 검토하여 지도대수의 이론적 틀을 분석하고 지도 레이어 데이터 모델을 보완하고 확장한다.

둘째, 지도대수를 명시하기 위한 형식언어(formal language)를 정의한다. 본 연구에서는 Tomlin(1986)이 제안한 언어를 기반으로 Tomlin의 언어체계가 갖는 제한점을 분석하여 어의적(semantic) 차원과 문법적(syntactic) 차원에서 동시에 보완/확장하여 지도대수언어의 표현력(expressive power)을 증가시킨다.

셋째, 구문해석기의 원형을 개발하고 그 설계상의 주요 이슈들을 밝힌다. 앞서 정의한 지도대수언어는 그 언어의 구문분석기(lexical analyzer)와 어의해석기(parser)를 통해 컴퓨터상에서 의미를 갖게 된다.

넷째, 지리정보시스템의 분산처리와 상호운용성을 제고한다는 측면에서 지도대수구문을 기존의

지리정보시스템에서 사용되는 고유언어체제로 연계할 수 있도록 구문번역기(semantic translator)를 개발한다. 지리정보시스템의 사용자언어로서 지도대수언어는 기존 시스템과는 독립적으로 개발된 공통언어이다.

다섯째, 웹이라는 정보의 하부구조를 활용하여 인터넷 지리정보시스템 서비스를 구현하기 위한 요소기술을 분석한다. 이를 위해 지도대수 처리기의 원형을 시험적으로 구축한다.

관련 연구의 검토

관계대수 (Relational Algebra)

지도대수와 가장 밀접한 선행 연구는 관계대수(Relational Algebra)에 관한 것이다. 관계대수는 현재 데이터베이스시스템의 근간을 이루고있는 관계형 데이터베이스의 이론적 모형으로 1970년 Codd에 의해 정형화 되었다((Codd, 1970). 관계대수라는 이론적 틀이 데이터베이스시스템의 체계적인 발전에 미친 영향은 실로 엄청난 것이었다. 관계형 모형이 데이터베이스시스템의 표준으로 자리잡기 전에 계층적 모형(Hierarchical Model)이나 네트워크 모형(Network Model)등이 사용되었으나 이들은 이론적 체계가 확립되지 못하여 곧 쇠퇴하였다.

관계대수의 핵심은 데이터베이스가 반영하는 실세계를 관계(Table)로 추상화하고 데이터베이스의 여러 조작(검색·추가·수정·삭제 등)들을 이 관계들에 적용될 수 있는 5가지 연산자로 표현하는 것이다. 관계형 데이터베이스에서 모형화의 대상이 되는 데이터 요소와 그 속성들은 튜플(Tuple)의 구조로 정리되고, 이 튜플들의 집합은 하나의 관계로 추상화 된다. 하나의 데이터베이스시스템이 갖는 정보는 이러한 관계들의 집합으로 볼 수 있으며, 이 집합은 관계대수라는 이론적 틀에서 피연산자(Operands)에 해당한다. 기존의 관계들을 처

리하는 연산자로 selection, projection, cross product, union, join 등이 정의되어 있다. 따라서, 관계와 관계의 연산을 통해 새로운 관계를 도출하는 관계대수와, 지도와 지도의 연산을 통해 새로운 지도를 도출하는 지도대수는 상호 밀접한 유사성을 갖는다.

지도대수 (Map Algebra)

관계대수의 관계, 즉 테이블에 해당하는 것이 지도대수의 지도 (혹은 지도 레이어)이다. 기존의 문헌을 살펴보면 지도 레이어(Map Layer)에 대한 다양한 조작적 정의가 나타나 있다. Burrough (1986)는 지도 레이어를 '지도 정보의 주제에 따른 논리적 분할로 정의하였고, De Hoop(1993)은 '지도 레이어는 지리자료의 추상을 나타내며, 모형화된 실세계의 특정부분을 묘사한다고 정의한다. 또한 Frank(1987)은 '특정 속성의 값을 통한 기하학적 분할로 보았고, Dorenbeck와 Egenhofer (1991)은 '완전분할을 형성하는 동일모양의 셀(Cell)들의 집합으로 지도 레이어를 정의하고 있다.

한편 지도 레이어는 (1) 개념적 차원과 (2) 물리적 차원에서 다를 수 있다. 예를 들어 Arc/Info에서는 개념적 레이어가 '레이어(layer)'라는 용어로 그리고 물리적 레이어가 '커버리지(coverage)'로 지칭된다. 한 장의 지도 레이어를 표현하기 위해서는 두 가지 요소가 필요하다. 즉, (1) 기하학적인 형상의 집합과 (2) 관련된 속성이 그것이다. 기하학적인 형상들에는 흔히 지리자료, 지도학적 사상(feature), 혹은 점, 선, 면들의 집합 등이 여기에 속하고, 이러한 형상들은 하나 이상의 속성자료와 연계되어 있기도 하다.

본 논문에서는 지도 레이어를 수학적 개념인 함수(function)로 정의한다. 즉, 함수의 도메인(domain)에 해당하는 집합은 기하학적인 형상이며, 이 함수는 속성값의 집합을 그 레인지(range)로 갖는다.

지도학적 모델링과 지도대수

지도학적 모델링(Cartographic modelling)은 GIS를 이용하여 다양한 지리적 조건과 프로세스들을 분석하는 방법이다. 지도학적 모델링에서는 명확하고 일관된 용어로 다양한 지리적 조건과 프로세스들을 표현하기 위해 대수와 같은 언어를 사용하고, 데이터의 수집·관리·이동보다는 활용에 주로 초점을 맞춘 "과정(process)" 중심이란 특성을 갖는다. 따라서 지도학적 모델링에는 일련의 공간적 현상과 논리적 구조에 대한 거시적인 안목이 필요하다.

지도 대수(map algebra)란 지도학적 모델링에서 데이터 개개의 특성들이 변수로 처리되어 주어진 처리과정에 의해 변환되거나 결합되는데 사용되는 일련의 연산과정이다. Tomlin은 지도학적 모델링의 지도대수를 구체적으로 각각의 연산과정으로 적용하여 구체화하였다. 구체적으로 Tomlin은 크게 3가지 측면에서 지도학적 모델링 언어를 정립하였다. 즉, ① 각 지도 레이어의 개별 위치에서 수학적 처리과정의 결과로 산출된 값을 새로운 지도 레이어에 할당하는 LocalFunction, ② 지도 레이어별로 이웃하는 위치의 값과 거리·방향에 관한 수학적 처리과정을 통해 계산된 값을 새로운 지도 레이어에 할당하는 FocalFunction, ③ 두장의 지도 레이어를 이용하여 새로운 레이어를 만드는 처리과정으로써 임의의 지역을 고려한 전체화에 수학적 처리과정을 거친 새로운 값을 이용하여 새로운 레이어를 만드는 ZonalFunction이 이에 해당한다.

Open GIS/Virtual GIS

OpenGIS는 서로 다른 분야, 서로 다른 컴퓨터 환경에서 다른 데이터 포맷으로 만들어져 분산 저장되어 있는 다양한 형태의 지리자료들을 사용자들이 자유로이 접근하고 처리할 수 있도록 고안된 새로운 형태의 지리정보 시스템이라 할 수 있다. 궁극적으로 Open GIS는 네트워크 환경에서 상이

한 지리정보와 지리정보처리 자원들을 누구나 접근할 수 있는 환경을 조성하는 것을 목표로 하고 있다.

Open GIS는 실세계의 공간적, 시간적 현상을 추상화하여 수학적 혹은 개념적 측면에서 수치적으로 표현하기 위한 개방형 지리자료 모델(OGM; Open Geodata Model), OGM에서 정의한 지리자료들에 대해서 접근·관리·조작·표현하기 위한 GIS 서비스 모델(Service Model), 그리고 동질적 집단 내부에서 그리고 이질적 집단들 간에 OGM과 서비스 모델을 사용하기 위한 정보 공동체모델(Information Communities Model) 등의 세가지 모델로 구성된다(Buehler and McKee, 1996).

세가지 Open GIS 모델 중에서 GIS 개발자가 가장 주목할 만한 모델이 서비스 모델이다. 서비스 모델은 사용자가 지리자료를 손쉽게, 그리고 효과적으로 다룰 수 있는 틀을 제공하며, Open GIS의 핵심기술이라 할 수 있다. Open GIS 서비스 모델은 지리자료의 조작과 처리 서비스, 지리자료 라이브러리 서비스, 미들웨어(middleware) 서비스 등의 세가지 분야를 포함하고 있다(OGC, 1997).

우선, '지리자료의 조작·처리 서비스'는 지리자료를 분석하고 모델링하기 위한 실질적인 조작과정을 가리킨다. 자료의 생성, 정부추출, 좌표변환, 중첩, 분석, 지리좌표화(geopositioning), 출력, 심볼화, 사상(feature) 생성, 압축, 타자료와의 융합, 기하조작 등이 여기에 포함된다. 둘째, '지리자료 라이브러리 서비스'는 사용자가 필요로 하는 사상들을 저장·검색·수정할 수 있도록 도와주는 서비스이다. 예를 들어, 자료의 저장, 접근, 수정, 메타데이터 생성, 사상 코드(OID) 부여, 질의, 질의결과 응답, 검색(browsing), 명령(ordering) 등이 포함된다. 셋째, '미들웨어 서비스'는 사용자가 원하는 사상을 찾을 수 있는 방법을 제공하는 것으로 동일한 지리정보를 이용하는 정보집단 뿐 만 아니라 서로 다른 지리정보를 이용하는 정보집단들 사이

의 연결을 위해 필수적이다.

현재 상용으로 혹은 연구용으로 개발된 지리정보시스템에는 다양한 유형의 지도 정보처리기능이 포함되어 있다. 이러한 기능들은 시스템 별로 각각 고유한 이름으로 지칭되고 있으며 세부적인 특성에 있어서 조금씩 차이를 보인다. Virtual GIS (Albrecht, 1995)는 이러한 기능들을 조사하여 공통분모를 도출하고 이들을 범용연산자 (universal operator)라는 틀에서 분류하기 위해 진행중인 연구분야이다. 범용 연산자 분류방식은 각 연산자가 갖고있는 수학적 성질이나 체계보다는 작업의 종류 (즉 지형분석, 네트워크 분석, 등)에 초점을 두고 있다.

웹-기반 GIS (Web-based GIS)

WWW(World Wide Web)은 인터넷 상의 정보들을 하이퍼미디어(HyperMedia)·하이퍼링크(HyperLink)란 기술을 통해 상호 연결시켜 손쉽게 다양한 형식의 정보를 검색하고 교환할 수 있는 도구이다. 최근에는 Web을 활용하여 분산된 공간 데이터베이스에 접근하려는 시도가 활발하게 전개되고 있다. 특히 초창기에 정적인(Static) 공간자료를 검색하고 질의하는 수준(Spatial Data Browsing Systems)에서 지금은 어느 정도의 공간 분석기능을 수행할 수 있는, 이른바 'Web-기반 GIS(Web-based GIS)'에 관련된 연구들이 소개되고 있다. Web-기반 GIS는 웹 브라우저(Web Browser)가 사용자에게 일관된 그래픽 사용자 인터페이스(Consistency of Graphical User Interface)를 제공하고, 다양한 플랫폼(Platform)을 지원하는 웹 브라우저가 개발되어 시스템의 유형에 상관없이 고도의 네트워크 통신이 기본적으로 가능하다는 Web의 장점들을 이용하고 있다.

현재까지 Web-기반 GIS 시스템은 기존 GIS 시스템의 기능과 Web을 상호 연동(coupling)하는 방향으로 주로 연구되어 왔다. Huse(1995)의 GRASSLinks 시스템은 웹과 지리정보시스템을 상

호 연동시킨 대표적 연구로 지금까지 Web-기반 GIS 관련 연구들이 그의 방법론을 수용하고 있다 ([http://www.regis.berkeley.edu/grasslinks]).

GRASSLinks의 핵심은 GRASS-GIS 프로그램을 웹에서 접근하기 위한 인터페이스 개발에 있다. GRASSLinks에서는 기초적인 GIS 기능인 포인트-인-폴리곤 탐색(Point-in-Polygon Search)과 공간적 질의(Spatial Query) 그리고 지도 중첩(Map Overlay)이 구현된다. 우선 사용자의 목적에 따라 기개발된 주제도들 가운데 선택할 수 있는 사용자 환경이 CGI를 통해 제시되고 그 선택에 따라 지도가 중첩되어 그 결과가 출력되며 이에 대해 공간적 질의나 축척의 변환이 이루어진다.

지도대수 확장

지도대수 연산자 확장

(1) 메타 연산자

지도대수 체계에서는 연산자를 함수(Function)로 모형화 한다. 한편 함수대수(Functional Algebra) 체계에서는 함수자체가 피연산자가 된다. 즉 함수대수의 연산자를 통해 또다른 연산자들간의 조합이 가능하다. 메타 연산자란 연산자들간의 조합을 위한 상위 차원의 연산자를 개념화한 것이다. 예를 들어, 함수 f와 g의 composition 함수를 통해 새로운 함수 h를 정의할 수 있으며 이는 수학적 언어로 $h = f \circ g$ 로 표현된다.

본 연구에서는 새로운 연산자의 생성을 가능케 하는 메커니즘을 함수대수라는 수학적 토대에서 구하여 아래의 메타 연산자들을 정의한다.

- MetaComposition
- MetaSequence
- MetaLoop
- MetaAlias, MetaRename, MetaRemove

이러한 메타 연산자는 Tomlin의 지도대수에서

발견되는 중요한 한계점인 프로그래밍가능성(Programmability)을 극복하는 이론적 핵심이라고 할 수 있다.

(2) GlobalFunction

GlobalFunction은 ZonalFunction의 특별한 경우로서 지도의 구역은 하나이면서 그 구역의 공간영역이 지도 레이어의 전체 공간영역을 점유한다. GlobalFunction은 Tomlin 체계에서는 빠져있으나 기존의 상용 지리정보시스템에서 예외 없이 제공하고 있는 주요 기능들을 수용하기위해 반드시 필요하다. 본 연구에서는 GlobalFunction 그룹을 정의하여 지도대수 연산자 체계를 확장하며 이에 속하는 연산자로서 아래와 같은 기능의 추가를 제안한다.

• GlobalRemove

newmap =

GlobalRemove of map1 [and map1]*

이 연산자는 하나 이상의 지도 레이어를 매개변수로 취하여 그 레이어들을 삭제한다. 결과 지도 레이어는 이 삭제 작업의 성공(True)과 실패(False)를 나타내는 Boolean Scalar 레이어를 생성한다.

• GlobalRename

newmap = GlobalRename of oldmap

이 연산자는 하나의 지도 레이어를 매개변수로 취하여 그 이름을 결과 지도 레이어로 명시된 대로 바꾼다.

• GlobalCopy

newmap = GlobalCopy of map

이 연산자는 하나의 지도 레이어를 매개변수로 취하여 그 내용을 결과 지도 레이어로 복제한다.

• GlobalProperty

newmap = GlobalProperty of map

이 연산자는 하나의 지도 레이어를 매개변수로 취하여 그 속성을 결과 지도 레이어로 생성한다. 지도 레이어의 각 계급별 빈도수가 표의 형태로

정리되며, 따라서 결과 레이어는 스칼라 지도에 속한다.

• **GlobalDescription**

`newmap = GlobalDescription of map`

이 연산자는 하나의 지도 레이어를 매개변수로 취하여 그 속성을 포함한 메타데이터를 결과 지도인 스칼라 레이어로 생성한다.

• **GlobalDisplay**

`newmap = GlobalDisplay of map1 [and map1]*`

이 연산자는 하나 이상의 지도 레이어를 매개변수로 취하여 증첩한 후 화면상에 출력한다. 결과 지도 레이어는 이 작업의 성공(True)과 실패(False)를 나타내는 Boolean Scalar 레이어로 생성된다.

• **GlobalJoin**

`newmap = GlobalJoin of map1 [and map1]*`

이 연산자는 하나 이상의 지도 레이어를 매개변수로 취하여 그 레이어들의 공간영역(Spatial Extent)을 연결하고 그 합집합을 결과 지도 레이어로 생성한다.

(3) 연산자 유형별 확장

이 장에서는 지도대수의 각 그룹별로 필요한 연산자를 확장한다.

• **LocalSample, ZonalSample, GlobalSample**

Sample 연산자는 지리정보시스템에서 자주 사용되는 표본추출을 위한 연산자로서 매개 변수로 지도 레이어 이외에 표본의 개수와 표본추출방식을 정할 수 있다.

• **LocalCorrelation, LocalCovariance**

Correlation/Covariance 연산자는 두 개 이상의 지도 레이어들 간의 상관계수나 공분산을 행렬 형태로 정의한 레이어를 생성한다.

• **LocalPatch**

`newmap = LocalPatch of map1 [and map1]*`

이 연산자는 하나 이상의 지도 레이어를 매개변

수로 취하여 그 레이어들을 불투명 증첩하여 새로운 결과 지도 레이어를 생성한다.

(4) 스칼라 지도 레이어

스칼라 레이어는 모든 셀들이 동일한 값을 갖는 지도를 지칭한다. 일반 레이어와 스칼라 레이어를 구분하는 이유는 지리정보시스템 내에서 저장되는 방식이 다르기 때문이다. 즉, 스칼라 레이어는 $O(NM)$ 의 셀들의 행렬로 반복되어 저장되지 않고 Look-up Table의 형태로 효과적으로 저장될 수 있기 때문에 그 저장용량이 $O(1)$ 에 불과하게 된다.

이러한 Look-up Table은 지리정보시스템과 영상처리시스템에서 정보의 재분류(Reclassification) 결과를 표현할 때 흔히 사용되는 방식이다. 지도 레이어를 함수로 모형화 할 때 그 함수는 일반적으로 저장함수 (Stored Function) 형태를 갖는다. 저장함수는 그 도메인과 레인지의 연결을 구체적으로 나열함으로써 표현된다. 특수한 경우 도메인과 레인지의 연결은 계산함수(Computed Function)로 표현될 수도 있다.

임의의 값을 갖는 스칼라 레이어의 생성은 모든 셀들이 특정 (NULL) 값을 갖는 지도 레이어를 도메인으로 하여 Look-up Table을 생성함으로써 가능하다. 한편, Look-up Table을 이용해 각각의 셀들에 특정 스칼라 값을 반복하여 나타내는 작업은 GlobalMaterialize라는 연산을 통해 이루어 지게 된다.

지도대수언어의 문법확장

(1) 복합 구문

Tomlin의 지도대수언어는 단일 연산을 하나의 문장으로 표현하며 복합구문이 불가능하다. 아래는 Map1과 Map2를 갖고 OP1, OP2, OP3라는 일련의 연산을 통해 MapNew라는 새로운 지도 레이어를 생성하는 과정으로 Tomlin의 지도대수 언어

를 통해 3개의 개별 문장으로 명시하는 예를 보여 준다.

MapTmp1 = OP1 of Map1 and Map2

MapTmp2 = OP2 of MapTmp1

MapNew = OP3 of MapTmp2

본 연구에서 제안된 문법은 [와]의 matching pair를 directive로 nested 구문과 그 단계를 구획하며 이를 이용하여 복합 구문을 생성한다. 따라서, 위의 연산들은 아래와 같이 단일 구문으로 표현될 수 있다.

MapNew =

OP3 of [OP2 of [OP1 of Map1 and Map2]]

(2) 임시 레이어 ID 자동생성

위의 예에서 나타난 것과 같이 Tomlin 지도대수언어는 반드시 생성되는 지도의 이름을 명시해 주어야 한다. 하지만 지리정보시스템의 실제 작업에는 임시로 생성되는 중간산출물이 많이 발생하기 마련이다. 이러한 중간산출물은 추후 삭제되는 경우가 대부분이며, 따라서 이들에게 고유 ID를 할당해 주는 것은 비효율적이고 혼란을 초래한다. 본 연구에서는 MapID = ·과 같은 표현은 선택적으로 필요한 경우만 명시하도록 문법의 보완을 꾀하였다.

(3) 연산자 동의어와 약어사전

Tomlin 체계에서는 지도 레이어의 각 구역별 평균값을 구하는 연산은 ZonalAverage로 표현하도록 정의되어 있다. 하지만 동일한 연산기능에 별칭(Aliases)을 허용하는 것은 사용자로 하여금 특정 연산명령어를 기억해야 하는 부담을 주게 된다. 즉, ZonalAverage는 ZonalMean이라는 동의어를 가질수 있고 이를 사용자가 정의할 수 있는 기능은 지도대수언어 사용의 편의성을 증가시킨다.

본 연구에서는 지도대수 구문해석시 풍부한 동의어 사전(Operator Dictionary/ Thesaurus)을 참조하여 연산자를 호출할 수 있도록 확장하였다.

또한 사용자 차원에서 동의어를 정의할 수 있도록 메타연산자인 MetaAlias 를 제공한다. 아래는 이를 이용하여 Total을 Sum 연산자의 동의어로 정의하는 구문의 예이다

LocalTotal = MetaAlias of LocalSum

그래픽 사용자 인터페이스가 아닌 경우 긴 문자열을 갖는 명령어를 정확히 입력하기는 힘들다. 이를 위해 본 연구에서는 연산자를 약어로 지칭할 수 있도록 보완하였다. 예를 들어 LocalMax 혹은 LocalMa만 입력하더라도 구문해석기는 사용자가 LocalMaximum 연산자를 의도한 것으로 파악할 수 있게 된다. 물론 약어는 두 개 이상의 연산자로 연결이 되어서는 안 된다. 즉 LocalMin 이라는 약어를 입력했을 때, 이것은 LocalMinimum 뿐만 아니라 LocalMinority 라는 연산자라도 연결이 가능하기 때문에 허용되지 않는 약어가 된다.

(4) 조절 구문 (Control Construct)

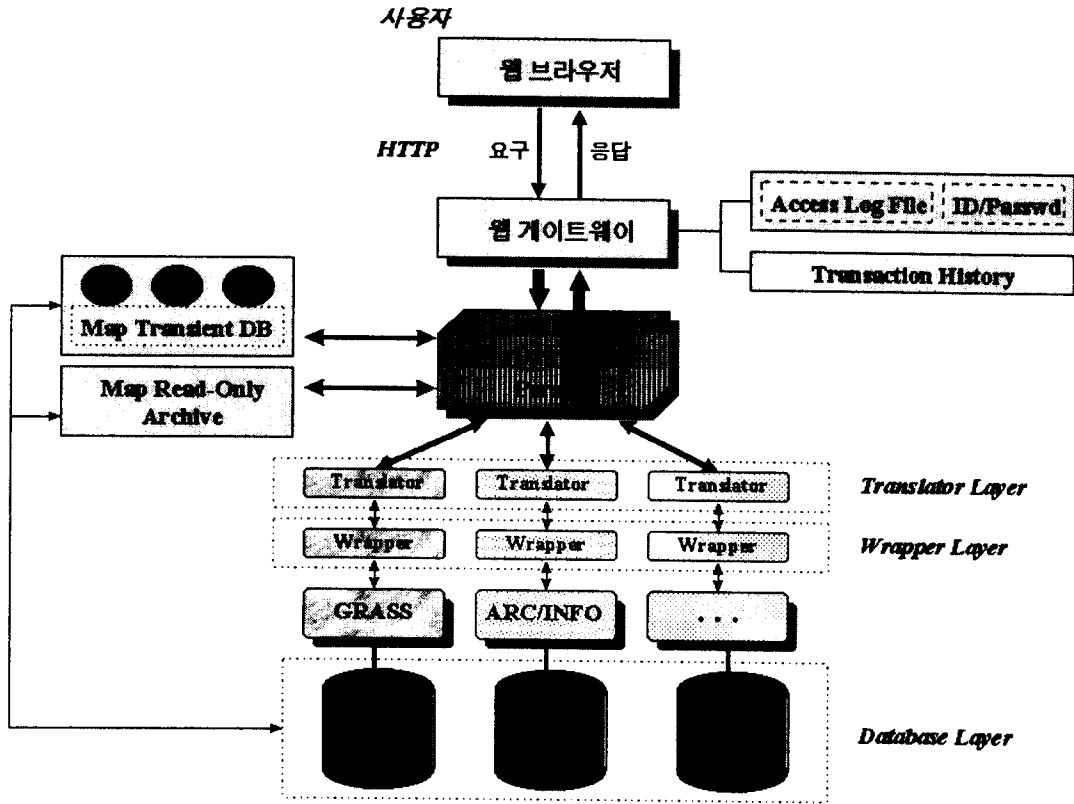
지도대수의 일련의 복합연산을 프로그래밍하기 위해서는 단위연산을 조절하는 Looping Construct등이 필요하다.

지도대수 처리기의 설계

본 연구에서 제안한 지도대수 체계와 언어가 실제 지리정보시스템의 사용자 언어로 기능하기 위해서는 컴퓨터상에서 지도대수구문의 입력과 해석, 그리고 그 처리를 구현하는 처리기가 필요하다. 이 장에서는 클라이언트-서버구조를 갖고 인터넷 웹 기반에서 작동하는 지도대수 처리기의 설계와 그 시범시스템의 구현을 기술한다.

MapSee의 시스템 구성

MapSee는 웹 기반 지도대수 처리기의 원형으로 시범적으로 구축된 시스템이다. 현재 <http://www.gis.snu.ac.kr/MapSee/>의 URL로 인터넷



<그림 1. MapSee 시스템 구성도>

상에서 서비스 중이다. MapSee의 기능적 구성요소는 크게 (1) 지도대수 구문해석기/어의 번역기와 (2) 지도 레이어 서버인 지리정보시스템과 그 인터페이스, 그리고 (3) 인터넷 서버와 연결 부분인 웹 게이트웨이로 나누어진다. MapSee의 전체 시스템 구조는 <그림 1>과 같다.

(1) GIS Backend

지도대수언어를 사용한 지도 레이어 처리요구는 최종적으로 Arc/Info와 같은 기존 지리정보시스템을 이용하여 처리된다. MapSee는 지리정보시스템을 Backend 서버로 채택하며 현재 GRASS 4.1.5와 Arc/Info 7을 구현 플랫폼으로 운영하고 있다.

(2) GIS 서버 Wrapper

MapSee의 특징은 다종의 지도 처리서버 Backend를 여러 개 동시에 구동하여 사용할 수 있다는 점이다. 이를 위해서는 네트워크상에서 클라이언트-서버 형식의 접속이 가능하도록 RPC-wrapper의 미들웨어 API가 필요하다.

(3) GIS 게이트웨이

GIS게이트웨이는 지정된 통신포트(Communication Port)에 TCP/IP접속을 매개해주는 Daemon 프로세스를 중심으로 구성되며, 외부로부터의 서비스요구와 처리결과가 RPC 채널을 통해 Backend로 전달이 된다.

지도대수언어(Map Algebraic Command Language)

MapSee의 지도대수언어는 전술한 Tomlin의 언어체계를 토대로 본 연구에서 확장한 어휘와 문법 체계를 갖는다.

(1) 문법 (Concrete Syntax)

지도대수언어의 문법은 5가지 연산자 유형별로 아래와 같이 정의된다. 여기서 이탤릭체로 표현된 부분은 사용자가 명시하는 지도 레이어의 ID나 기타 매개변수를 나타내고, **and**, **at**, **by**, **in**, **on** 등은 지도대수언어의 지시자(directive)에 해당하는 lexical token을 나타낸다. 또한 [와] 기호는 선택적(optional)인 구문이며, *은 0 이상의 반복을 나타낸다.

- *NewMap* = LocalFunction of *FristMap*
[and *NextMap*]*
- *NewMap* = FocalFunction of *FristMap*
[at *Distance*]
[by *Direction*]
[Spreading
[in *FrictionMap*]
[on *SurfaceMap*]
[through *NetworkMap*]
[radiating
[on *SurfaceMap*]
[through *ObstructionMap*]
[to *ReceptionMap*]
- *NewMap* = IncrementalFunction of
FristMap
[on *SurfaceMap*]
- *NewMap* = ZonalFunction of *FristMap*
[within *SecondMap*]
- *NewMap* = GlobalFunction of
FristMap
[and *NextMap*]*

구문해석기(Map Algebraic Language Parser)

구문해석기는 사용자가 입력한 지도대수의 복합 구문에 대하여 문법이 옳은지 여부를 검사하고, 지시된 의미대로 지도 레이어의 처리를 위한 단계화 작업을 거쳐 최종 결과물을 산출하는 요소이다. 구문해석기는 Lexical Analyzer, Service Dispatcher, Semantic Translator등의 소프트웨어로 구성된다.

(1) 구문처리기 (Service Dispatcher)

구문처리기는 해석된 연산자를 호출하여 지도 레이어의 처리를 수행하도록 연계하는 요소이다.

(2) Target GIS 어의 번역기 (Semantic Translator)

MapSee 시범시스템을 통해 검증된 개념은 현존하는 지리정보시스템들 간의 상호운용성이 공통 언어인 지도대수언어를 통하여 향상될 수 있다는 점이다. 이것은 각각의 지리정보시스템에서 채용하고 있는 고유의 사용자 언어들과 지도대수언어 간의 어의번역기라는 미들웨어를 통해 이루어진다.

웹 게이트웨이 (Web Gateway)

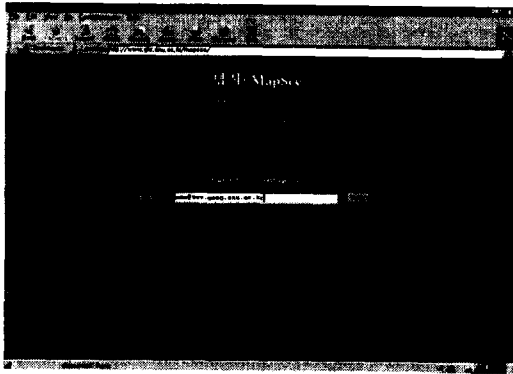
MapSee의 지도대수처리기는 Stand-alone방식으로 구동할 수도 있지만, 웹 게이트웨이를 통해서 인터넷상의 일반사용자가 웹 브라우저를 통해서 접속할 수 있도록 설계되었다. 이것은 지도대수 처리기가 최근 이슈로 부각되고 있는 인터넷 지리정보시스템의 공통기반으로서의 가능성을 모색하기 위함이다.

웹 게이트웨이는 MapSee의 HTTP 서버를 이용하여 웹 브라우저를 통해 들어오는 사용자 요구를 CGI 프로그램에 연결하는 기능을 수행한다.

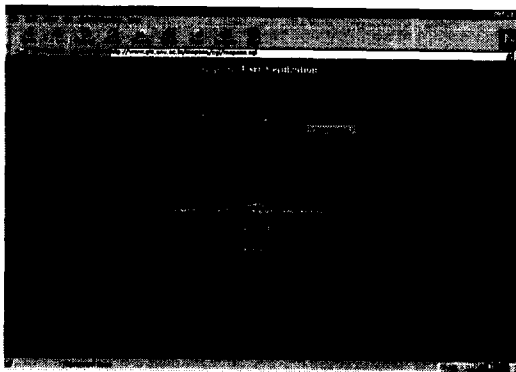
(1) 사용자 확인 (User Verification)

MapSee는 사용자 접속 Instance별로 MapSee의 내부 레이어 데이터베이스를 할당한다. 이는 사용자가 MapSee의 지도대수를 이용하여 생성하

는 지도 레이어를 저장하고 관리하기 위한 것으로 시스템 전반에 걸쳐 어느 사용자나 항상 접근이 가능한 공통 레이어 데이터베이스와 구분된다. 이러한 공통 데이터베이스는 주제별 혹은 공간영역별로 사용자가 접속하게 되며, 데이터베이스에 저장되어 있는 레이어들은 읽기전용(Read-only)으로 사용자의 수정이 불가능하도록 보호되어 있다. 사용자는 특정 데이터베이스에 접근하기 위해 사용자 ID와 패스워드를 신청하여 등록할 수 있다. <그림 2-a>는 MapSee 접속의 초기화면을 보여준다. 초기화면에서 사용자의 E-mail 주소를 입력하게 되면 MapSee는 SMTP 프로토콜을 이용하여 실제 여부를 확인한 후 <그림 2-b>와 같은 Entry Point를 제공한다.



<그림 2-a. MapSee 초기화면>



<그림 2-b. 사용자 확인>

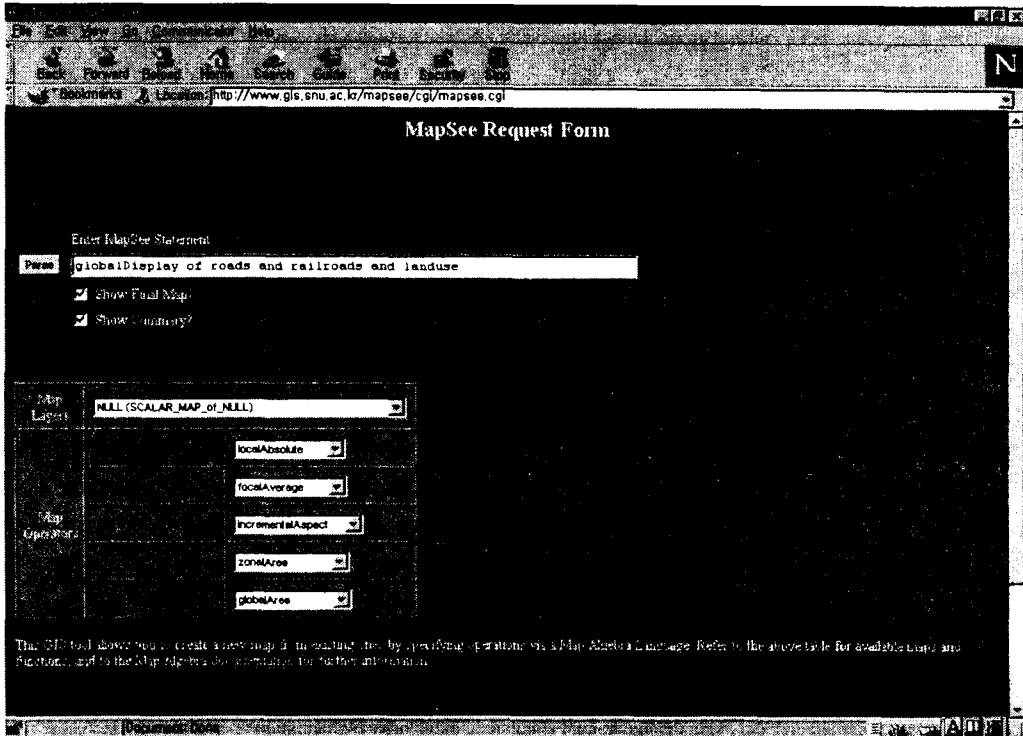
(2) Logging/Cookie

사용자는 웹 클라이언트를 통해 MapSee 서버에 초기 접속하는 과정에서 HTTPD Cookie를 부여 받고 이 후의 모든 서비스 Request 제출 시에 이 Cookie를 자동적으로 첨부하게 된다. 이를 통해 MapSee 서버는 사용자에게 할당된 지도 데이터베이스 및 처리이력(Transaction History)의 모니터링을 할 수 있게 된다.

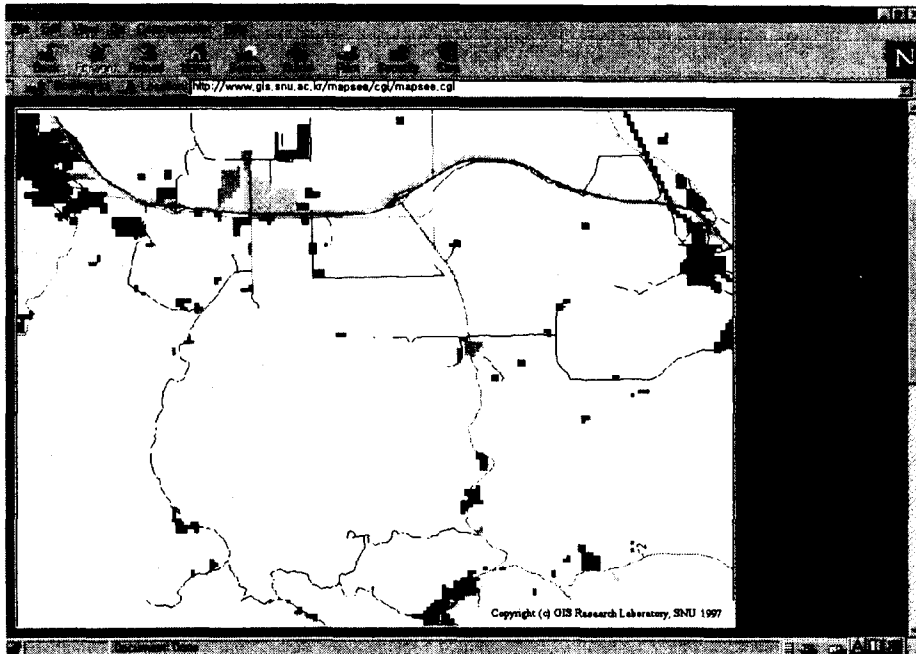
(3) HTML 양식에 기반한 사용자 인터페이스

웹 기반 MapSee는 일반 HTML양식과 이미지 맵을 이용한 인터페이스를 갖고 있다. <그림 3>은 MapSee의 지도대수 서비스 입력화면의 예이다. 화면의 주요 구성요소는 (1) 지도대수 구문의 입력창(window)과 (2) 사용자가 지정한 데이터베이스의 지도 레이어 목록, 그리고 (3) 동원가능한 연산자의 유형별 목록이다.

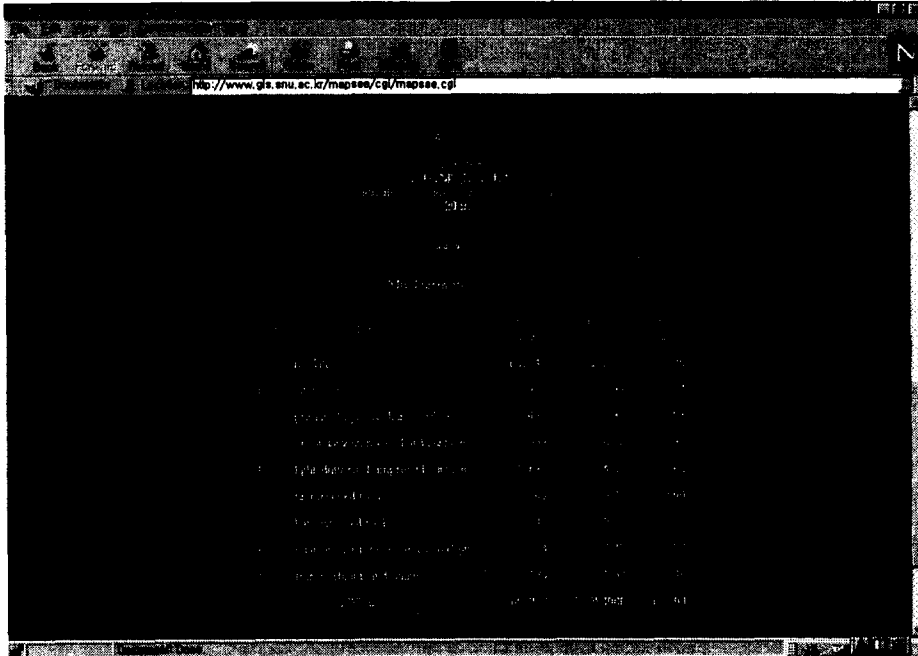
<그림 4>는 지도대수 구문의 처리결과를 사용자의 선택에 의해 화면상에 출력한 예를 보인다. 이 결과물은 이미지 맵으로 제공되어 Zoom In/Out, Panning 기능과 마우스 클릭된 위치의 속성정보 질의를 추가할 수 있다. 또한 선택한 지도 레이어의 메타정보 (공간영역, 투영법, 계급 구분과 빈도 수 등)에 대하여도 검색이 가능하다(그림 5).



<그림 3. MapSee Request 양식>



<그림 4. 지도대수 처리결과>



〈그림 5. 지도 레이어 메타정보 검색〉

결 론

지도대수는 이론이 아직 빈약한 지리정보시스템에 수학적 성질을 토대로 그 기능을 보다 체계적으로 이해할 수 있는 틀을 제공한다. 즉, 본 연구에서 제시한 지도 레이어의 함수적 모형과 메타연산자를 통해 확립된 지도대수체계는 지리정보시스템의 현재 모습을 보다 구체적으로 발전시킬 수 있는 기초가 될 것이다. 또한 지도대수언어의 확장과 보완을 통해 기존의 지도대수체계가 갖는 제한을 극복하였으며, 지도대수 처리기의 웹 인터페이스는 분산형 지리정보시스템 혹은 인터넷 지리정보시스템을 위한 기반이 지도대수 체계하에서 가능성을 보여 주었다.

MapSee 시범시스템을 통해 검증된 개념은 현존하는 지리정보시스템들 간의 상호운용성이 공통언어인 지도대수언어로 제고될 수 있다는 것이다. 이것은 각각의 지리정보시스템에서 채용하고 있는

고유의 사용자 언어들과 지도대수언어 간의어의 번역기라는 미들웨어를 통해 이루어진다.

웹 기반의 MapSee는 GRASSLinks와 같은 기존의 웹 인터페이스와 근본적으로 차이가 있다. 즉, GRASSLinks와 같은 시스템은 미리 정해진 몇 개의 지리정보처리 기능(재분류, 중첩, 등)을 HTML양식을 통해 접근하게 된다. 따라서 웹을 통해 접속하는 사용자에게 N개의 처리함수를 제공하기 위해서는 N개의 양식이 미리 마련되어야 하고 또한 각각 별도의 CGI 코딩이 필요하게 된다. 이에 반하여 MapSee는 임의의 지도대수 구문을 입력할 수 있고 이것이 하나의 공통된 어의해석기를 통해 처리된다. 그러므로 이때 하부구조로 채택된 지리정보시스템이 어떤 것이던 그것이 제공할 수 있는 모든 기능이 온전히 사용자에게 웹을 통해 접근가능하게 되는 것이다.

지도대수와 관련된 앞으로의 연구과제로서 지도대수언어를 CORBA기반의 IDL로 이식하고 서비

스를 분산 네트워크상에서 Open GIS의 명세로 접근할 수 있는 인터페이스의 개발이 현재 진행 중이다.

또한 명령어 중심의 지도대수 사용자 인터페이스를 그래픽 언어 (Visual Language)를 통해 인터페이스가 가능한 MVP(Map Visual Programming)에 관련된 연구는 향후 과제중의 하나이다.

참 고 문 헌

- Albrecht, J., 1995, Virtual Geographic Information Systems (VGIS), HICSS-27, pp. 141-150.
- Burrough, P.A., 1986, Principles of Geographic Information Systems for Land Resource Assessment (Oxford : Oxford University Press)
- Codd, E.F., 1970, A Relational Model of Data for Large Shared Data Banks, Communications of ACM, 13, pp. 377-387.
- De Hoop, S., Van Oosterom, P., and Molenaar, M., 1993, Topological Querying of Multiple Map Layers. In Proc. Conf. On Spatial Information Theory, pp. 139-157.
- Delis, V., Hadzilacos, T., and Tryfona, N., 1994, An Introduction to Layer Algebra. C.T.I. TR-94.01.2, Computer Technology Institute, Patras.
- Dorenbech C., and Egenhofer, M., 1991, Algebraic Optimization of Combined Overlay Operations. In Proc. AutoCarto 10, Baltimore, MD, pp. 296-312.
- Environmental System Research Institute, 1992, Arc/Info v.7.1 Users Guide, Vol. 1.
- Frank, A. 1993, The Use of GIS: the user interface is the system. In Medyckyj-Scott, D. and H. Hearnshaw: Human Factors in Geographic Information Systems, Belhaven, London, pp. 11-12.
- Huse, S.M., 1995, GRASSLinks : A New Model for Spatial Information Access in Environmental Planning, Ph. D. Dissertation of University of California at Berkeley
- Kurt Buehler and Lance McKee eds, 1996, Introduction to Interoperable Geoprocessing, Open GIS Consortium, OGIS TC Document 96-001.
- Object Management Group, 1995, CORBA Specification (New York, John Wiley & Sons).
- Open GIS Consortium, 1997, The OpenGIS Service Architecture, OpenGIS Project Document Number 97-112R1.
- Tomlin, C.D., 1990, Geographic Information Systems and Cartographic Modeling (Prentice-Hall, Engle- wood Cliffs, NJ).