

시공간 개인통행자료의 지리적 시각화

박기호* · 안재성** · 이양원***

Geovisualization Environment for Spatio-temporal Trajectory of Personal Activity

Key-Ho Park* · Jae-Seong Ahn** · Yang-Won Lee***

요약 : 이 연구는 GPS 수신기를 통해 수집된 개인통행자료를 이용하여 통행패턴의 시공간적 특성을 다양한 그래픽으로 요약하고 탐색적 분석을 가능케하는 지리적 시각화 환경을 제안하고 이를 구현 및 평가하는 것을 목적으로 한다. 이 연구에서는 시공간입방체(space-time cube)를 바탕으로 시간지리학 개념을 시각적으로 표현하였으며, 시간산포기둥(temporal dispersion cylinder), 평행평면그림(parallel plane plot)과 같은 부가적인 시각화 도구의 구현을 통해 개인통행패턴의 시공간적 속성 및 이동경로 주위지역의 사회경제적·자연적 속성을 함께 탐색할 수 있도록 하였다. 또한 사용자와의 상호작용을 통해 개인통행자료에 포함되어 있는 “언제”, “어디에서”, “무엇을”이라는 세 가지 정보요소들을 동적으로 탐색 및 질의할 수 있는 환경을 제공한다.

주요어 : 지리적 시각화, 시간지리학, 시공간자료, GIS, GPS

Abstract : This study attempts at prototyping and evaluating a geovisualization tool that summarizes and explores human activity patterns using spatio-temporal trajectory data collected from GPS receiver. A set of core conceptualization developed in “time geography” is successfully represented by our prototype based on the notion of “space-time cube.” The notions of “temporal dispersion cylinder” and “parallel plane plot” are also implemented to allow further analyses of human activity pattern on the space-time trajectory. The capabilities of the geovisualization environment we proposed include the interactive and dynamic functions that support a variety of explorations on the three components of spatio-temporal data : space(when), time(when), and object(what).

Key Words : Geovisualization, Time Geography, Spatio-temporal Data, GIS, GPS

* 서울대학교 사회과학대학 지리학과 부교수(Associate Professor, Department of Geography, College of Social Sciences, Seoul National University) khp@snu.ac.kr

** 서울대학교 사회과학대학 지리학과 박사과정(Ph. D. Student, Department of Geography, College of Social Sciences, Seoul National University) grahn03@snu.ac.kr

*** 동경대학 공간정보과학연구소 박사후연수연구원(Postdoctoral Researcher, Center for Spatial Information Science, The University of Tokyo) jwlee@iis.u-tokyo.ac.jp

1. 서론

1) 연구 배경

시간지리학은 인간활동에 영향을 주는 시공간적 제약에 관심을 갖고 개별 인간 활동들이 거미줄처럼 얽혀서 만들어 내는 현상과 패턴에 대한 사회경제적 모형을 모색하는 분야이다(Hägerstrand, 1970). 1990년대 이후 GIS의 등장과 함께 시간지리학의 개념과 분석틀을 새롭게 구성하려는 연구들이 활발하게 진행되고 있다. 시간지리학에 대한 새로운 접근은 인간활동에 영향을 미치는 시공간적 제약을 정보기술을 이용하여 보다 체계적으로 분석하려는 시도라고 할 수 있으며, Miller(2004)는 이러한 경향을 신시간지리학(new time geography)이라고 표현하기도 한다. 최근 GPS나 텔레매틱스(telematics)의 보급에 따라 개인통행에 대한 미시자료(micro data)의 구득이 가능해졌으며, 이러한 시공간자료는 GIS의 네트워크분석 및 대용량자료관리 기능에 의해 효과적으로 활용될 수 있다.

공간정보과학과 관련하여 진행되는 시간지리학의 주된 연구는 크게 두 분야로 분류된다. 첫째는, Lenntorp(1976)의 시공간프리즘(space-time prism) 개념을 바탕으로 개인차원의 접근성 측정을 위한 GIS 컴퓨팅(geocomputation) 기법에 관한 연구이다(Miller, 1991; Kwan, 1998; Miller, 1999; O'Sullivan *et al.*, 2000; Miller and Wu, 2002; Weber and Kwan, 2002). 둘째는, 지리적 시각화(geovisualization) 기법을 이용하여 개인의 시공간 통행자료를 시각화하는 연구이다. 지리적 시각화에 중점을 두는 연구들은 시간지리학 개념을 이용하여 통행자료에 포함된 이동궤적 및 이동특성에 대한 시각적 표현방법을 개발하거나, 이러한 시각적 표현을 바탕으로 통행자료의 시공간적 특성을 탐색하는 것을 주된 연구주제로 삼는다.

지리적 시각화 기법은 표현방식에 따라 2차원 평면상의 시각화와 3차원 공간상의 시각화로 나뉜다. 2차원 평면은 3차원 공간에 비해 정보식별과 패턴인식이 용이하다(Cleveland, 1993)는 점에서, Kwan(2000)이나 Dykes and Mountain(2003)의 연구에서는 통행지

점의 분포를 나타내는 밀도면(density surface)을 작성하여 통행자료의 공간적 분포특성을 표현하기도 하였다. 그러나 이러한 밀도면은 통행자료의 공간적 분포특성을 표현하는 데는 적합하지만, 시간축을 따라 탐색할 수 있는 정보의 손실을 가져올 수도 있기 때문에 통행자료의 시공간적 분포특성을 파악하기에는 적합하지 않다. 이를 보완하기 위해 Kwan(2000), Kraak(2003), Andrienko *et al.*(2003)은 2차원 평면에 시간축을 추가한 3차원 공간상에서 이동궤적을 보여주는 방법을 도입하였다. 이동객체의 궤적은 시공간입방체(space-time cube)와 같은 3차원 공간상에서 보다 효과적으로 표현되어지므로(MacEachren, 1995), 3차원 공간은 시간의 흐름에 따른 개인통행패턴과 같이 시간 및 공간 측면의 특성을 동시에 표현하는데 적합한 방법이라 할 수 있다. 3차원 공간상에서 시간지리학 개념을 표현하는 것은 GIS와 컴퓨터그래픽스 기법에 의해 구현되고 있다(Rinner, 2004).

2) 연구 목적

선행 연구들에서 시공간 통행패턴의 지리적 시각화를 위한 여러 방법들이 제안되었지만, 이를 통합적으로 구현하는 시뮬레이션 환경에 대한 연구는 이루어지지 못했다. 특히 사용자와의 동적 상호작용을 바탕으로 개인통행자료의 시공간패턴 및 시간지리학 개념을 표현하거나, 이동경로 주위지역의 사회경제적·자연적 속성에 대한 다변량(multivariate) 정보를 함께 제공하는 시뮬레이션 환경을 구현한 사례는 아직 없다. 이에 본 연구에서는 (i) GPS 수신기를 이용한 개인통행자료의 수집, (ii) 2차원 평면 및 3차원 공간상에서의 시공간패턴 및 시간지리학 개념의 표현, (iii) 이동경로 주위지역의 사회경제적·자연적 속성의 탐색을 통합하는 지리적 시각화 시뮬레이션 환경의 개발과 평가에 그 목적을 둔다. 이 연구에서 구현 및 제안하는 지리적 시각화 환경은 기존의 시공간입방체에 동적인 상호작용을 추가하여 “언제”, “어디에서”, “무엇을”에 대한 자유로운 탐색 및 질의가 가능하도록 하고, 시간산포기둥(temporal dispersion cylinder) 및 평행평면그림(parallel plane plot)과 같은 표현방법을 새롭게 도입

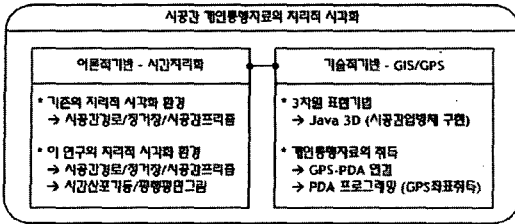


그림 1. 연구 방법

하여 시공간경로와 관련된 속성정보를 함께 표현한다. 현대 지도학적 환경에서 지리적 시각화 기법의 핵심은 상호작용(interactive)과 역동성(dynamics)이며 (MacEachren and Kraak, 2001), 이 연구에서 구현 및 제안하는 지리적 시각화 환경도 이러한 특성을 갖추는데 역점을 둔다.

3) 연구 방법

이 연구에서는, 이론적으로는 시간지리학 개념에 기반하고 기술적으로는 GIS의 3차원 표현기법을 활용함으로써 개인통행자료의 시공간패턴을 효과적으로 표현하는 지리적 시각화 환경을 개발한다(그림 1). 기존의 시공간입방체를 개선하여 시공간경로(space-time path), 정거장(station), 시공간프리즘(space-time prism)과 같은 시간지리학의 주요개념을 표현함과 동시에, 시공간경로와 관련된 속성정보의 탐색을 위해 시간산포기둥과 평행면그림 등의 방법을 새로이 도입하며, 이들을 유기적으로 통합한다. 개선된 시공간입방체는 Java 3D를 이용하여 구현하며, 자료원으로 사용할 개인통행 미시자료는 GPS 수신기와 PDA(Personal Digital Assistant)를 통해 직접 취득하

여 개선된 시공간입방체에 탑재한다.

2. 관련이론의 검토

1) 시간지리학의 주요개념

시공간적 제약을 받는 인간활동이 시간의 경과에 따라 공간상에 남기는 자취를 시공간경로라고 한다. 예를 들어, 어떤 사람이 아침에 일어나 집을 출발하여, 오전에 학교를 거쳐 오후에 직장으로 이동한다고 할 때, 이 사람의 이동경로는 2차원 평면에 표시될 수도 있지만, 여기에 시간축을 추가하여 이동경로상의 시간대별 위치를 3차원 공간상에 표시하면 시공간경로가 된다(그림 2a).

시공간경로에서 특정지점에 수렴이 발생할 경우, 이를 정거장이라고 한다. 정거장은 학교, 집, 식당과 같이 일정 시간동안 활동이 집중되는 장소이며, 시공간경로 상에서는 시간축에 거의 평행한 직선형태로 표시된다. 활동이 집중되는 장소인 정거장에서 이루어지는 활동들을 활동꾸러미(activity bundle)라고 한다. 또한 개별 시공간경로는 특정 지점에서 교차하는데, 이 교차점에 나타나는 원통(cylinder) 모양의 지점이 정거장에 해당하고, 여기에서 발생하는 활동들이 활동꾸러미이다(그림 2b).

시공간프리즘은 이용가능시간(time budget)에 의해 설명된다. 어떤 사람이 t_1 시각에 집에서 출발하여 t_2 시각에 직장에 도착한다고 할 때, 이용가능시간은 t_2 이며, 시공간프리즘은 이용가능시간 내에서 시공간경로

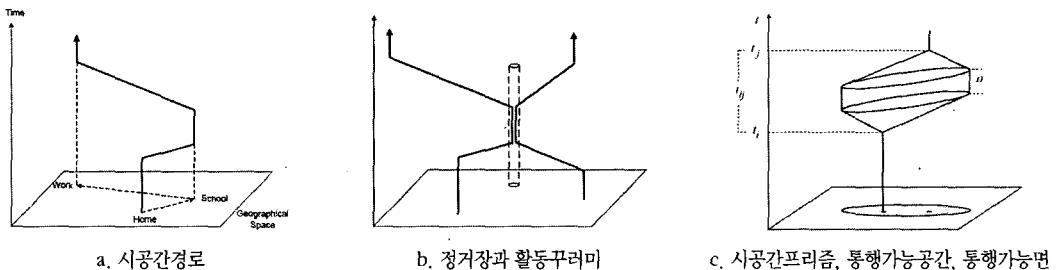


그림 2. 시간지리학의 주요개념 (출처 : Miller, 2004)

상에 표현되는 시공간적 범위를 말한다(그림 2c). 또한, 통행가능공간(potential path space)은 시공간프리즈 내부에 그려질 수 있는 가장 큰 입체공간이고, 통행가능면(potential path area)은 통행가능공간을 2차원 평면에 투영한 것이다.

2) 시공간자료의 표현과 탐색

(1) 시공간입방체

시간지리학에서의 시간은 거리와 마찬가지로 측정 가능한(time as distance) 개념으로서 (Vasiliev, 1997), 시간에 따른 개인의 이동은 거리를 나타내는 x, y축과 시간을 나타내는 z축으로 구성된 3차원 공간상에 표현 될 수 있다. 지리적 평면에 시간축을 추가한 시공간입방체는 시간지리학적 시각화의 핵심요소로서 개인통행의 시공간경로를 효과적으로 표현한다(Kraak, 2003). 시공간자료는 “언제(when)”, “어디에서(when)”, “무엇을(what)”이라는 세 가지 정보요소로 구성되며(Peuquet, 1994), 개인통행자료 등의 시공간 자료는 이들 세 가지 정보요소의 조합에 의해 다음과 같이 탐색될 수 있다(Andrienko *et al.*, 2003).

- where + when → what : 어떤 공간(when)과 시간(when)에 있었던 객체(what)는 무엇인가?
- when + what → where : 어떤 시간(when)에 객체(what)가 있었던 공간(when)은 어디인가?
- where + what → when : 어떤 공간(when)에서 객체(what)가 있었던 시간(when)은 언제인가?

시간지리학의 주요개념을 표현하는 시공간입방체는, 시공간경로의 3차원 입체표현과 2차원 평면표현을 결합하거나 시간축에 초점을 맞추는 슬라이더를 이용하여 탐색함으로써 보다 효율적으로 기능할 수 있다. 시공간경로에 대한 3차원 입체표현과 2차원 평면표현이 결합되면 시공간경로의 공간분포에 대한 요약적 파악이 용이해지는데, 이는 시공간입방체 바닥면에 시공간경로를 투영하는 방식으로 이루어진다. 또한 시공간입방체를 확대·축소·이동·회전하는 일반적인 탐색 방법과 함께, 입방체의 시간축을 따라 움직이는 평면 슬라이더(planar slider)를 이용하는 탐색방법이 결합

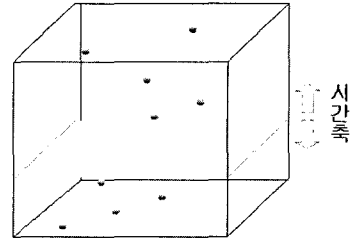


그림 3. 평면슬라이더

되면 시공간경로에 대한 보다 동적인 탐색이 가능해진다. 그림 3에서처럼 평면슬라이더는 시공간입방체의 시간축을 따라 움직이면서 해당 시간대의 시공간경로를 선별적으로 탐색할 수 있게 한다.

(2) 시간산포기등과 평행평면그림

시공간 통행자료의 시각화는 이동경로에 대한 시간 및 공간차원의 정보와 함께, 이동속도나 이동방향 등 속성차원의 정보도 포함한다(Mountain, 2004). 이러한 속성차원의 정보는 이동속도, 이동방향, 이동량과 같이 통행자료에 내재한 1차적 정보들뿐 아니라, 사회경제적·자연적 속성과 같이 통행자료 외부의 2차적 정보로까지 확장될 필요가 있다.

시공간입방체는 시간 및 공간차원의 정보표현에 있어 효과적인 방법이지만, 시공간경로와 관련된 속성차원의 정보를 탐색하기 위해서는 추가적인 정보표현수단을 필요로 한다. 이동속도는 시공간경로를 구성하는 각 선분의 기울기로 표현되고, 이동방향은 시공간입방체의 뷰(view)를 조절함으로써 파악 가능하며, 시간대에 따른 이동량 분포는 그림 4와 같은 시간산포기등으로 표현될 수 있다. 시간산포기등은 단계구분도의 계급분류에 이용되는 산포그래프(dispersion graph)의 시간적 변형으로서, 중심기둥(시간축)을 따라 표시되는 띠의 굵기를 통해 시간대별 이동량을 나타낸다. 개인통행자료의 주요 수집원인 GPS 수신기는 하늘이 보이는 장소에서만 유효하게 작동하므로, 시간산포기등의 굵은 띠는 실외에서 이동량이 많았던 시간대를 나타내고, 띠가 없는 부분은 이동이 없었거나 실내에 머물러 있었음을 의미한다.

이동경로 주위지역의 사회경제적·자연적 속성은

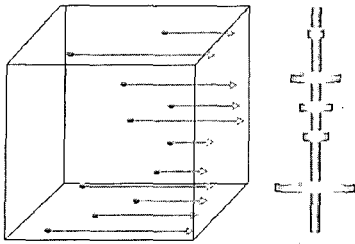


그림 4. 시간산포기둥

주제도 중첩(overlay)과 평행평면그림(그림 5)을 통해 탐색 가능하다. 시공간입방체의 바닥면에 각종 주제를 중첩하면, 시공간 통행의 이동경로와 주위지역의 사회경제적·자연적 상황을 함께 살펴볼 수 있다. 또한 평행평면그림은 일반적인 평행좌표그림(parallel coordinate plot)을 변형하여 단위지역별 다변량 자료에 적용한 것으로서(Edsall, 2003), 각 연결선은 어떤 단위지역이 가진 n개의 속성값을 연결한 것이며, 이동경로와 교차되는 각 지역의 사회경제적·자연적 속성을 비교·파악할 수 있게 한다.

(3) 시각화 환경의 유기적 제어

시각화 환경의 유기적 제어는 사용자와의 동적 상호작용에 있어서 초점맞추기(focusing), 선별적 강조(brushing), 연결하기(linking)와 같은 GUI(Graphic User Interface) 탐색방법을 이용한다. 예를 들어, 시공간입방체에 표현된 시공간경로 중에서 관심지점에 대한 초점맞추기는 확대·축소·이동·회전 및 평면슬라이더의 조작을 통해 이루어진다(focusing). 그리고 평행평면그림에 표현된 다변량 정보 중에서 특정지역

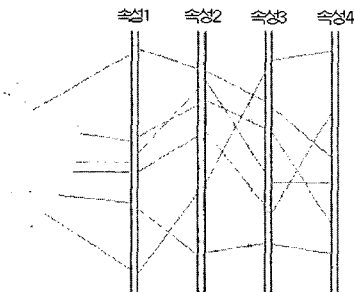


그림 5. 평행평면그림

의 정보를 선별하는 것은, 색상변경·굵기변경·깜박거림 등의 효과를 통해 단위지역별 연결선 중에서 사용자가 선택한 지역의 연결선을 강조하는 방식으로 이루어진다(brushing). 시공간입방체, 시간산포기둥, 평행평면그림은 동일한 자료를 서로 다른 관점의 뷰를 통해 표현하는 것이므로, 하나의 뷰는 나머지 두개의 뷰와 연결되어(linking), 하나의 뷰에 대한 초점맞추기나 선별적 강조는 다른 두개의 뷰에도 동시에 작용함으로써 모든 뷰가 일관되게 작동할 수 있다.

3. 시공간 통행자료의 지리적 시각화

1) 통행자료의 수집과 좌표변환

이 연구에서 지리적 시각화 시뮬레이션에 사용된 원 자료는 개인이 GPS 수신기를 휴대하여 직접 수집한 것이며, 하루 중 8시부터 18시까지 10시간의 위치자료가 파일에 기록되었다. GPS 좌표를 자동적으로 파일에 기록하기 위하여, 그림 6과 같이 PDA와 GPS 수신기를 연결하고, PDA에서 GPS 수신기의 데이터를 일정 시간간격으로 읽어와 텍스트파일로 저장하는 프로그램을 작성하였다(그림 7). GPS 좌표 취득을 위한 프로그램은 Windows CE를 기반으로 .NET Compact Framework과 C# .NET을 이용하여 구현하였으며, 쓰레딩(threading) 기법을 이용하여 일정 시간간격으로 작동하도록 구성하였다.

GPS 좌표는 WGS84(World Geodetic System 1984) 경위도 좌표이지만, 현재 우리나라의 수치지도는 베셀(Bessel) 타원체에 준거한 TM(Transverse Mercator) 좌표를 사용하기 때문에, GPS 자료를 수치지도 상에 표현하기 위해서는 좌표변환(coordinate transformation) 처리가 필수적이다. 이 연구에서 작성한 PDA 프로그램은 GPS 수신기를 통해 취득한 WGS84 경위도 좌표를 즉각적으로 TM 좌표로 변환하여 텍스트파일로 저장하는 기능을 포함하며, WGS84 경위도 좌표를 베셀 타원체의 TM 좌표로 변환하는 것은 그림 8과 같은 일련의 과정을 거친다.

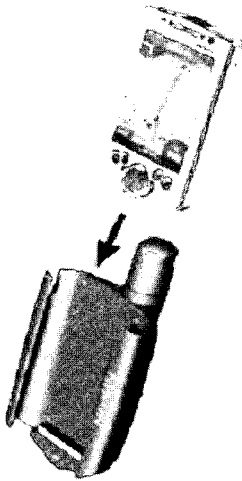


그림 6. PDA와 GPS 수신기의 연결

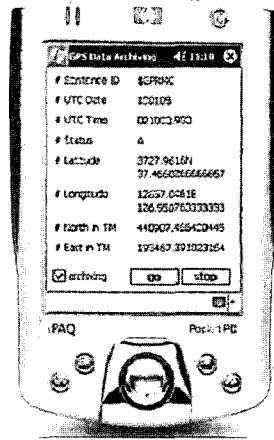


그림 7. GPS 데이터의 취득과 좌표변환

2) 지리적 시각화 시뮬레이션 환경

(1) 전체적 구성

이 연구에서 구현한 시공간 통행자료의 지리적 시각화 시뮬레이션 환경은 시간지리학의 주요개념을 표현하고 시공간 통행자료를 동적으로 탐색하기 위해 그림 9와 같이 구성되었다. GPS 수신기를 통해 수집된 개인 통행자료는 시공간입방체, 시간산포기둥, 평행평면그림을 통해 시각화된다(그림 10). 개선된 시공간입방체는 3차원 입체경로와 2차원 평면경로를 결합하여 이동 궤적을 표현하고, 평면슬라이더를 브라우징 툴(browsing tool)로 사용함으로써 시공간경로에 대한 동적인 탐색이 가능하도록 한다.

시공간경로 그 자체 이외에, 시공간경로와 관련된 부가적 속성정보의 탐색은 시간산포기둥, 평행평면그림 등을 통해 이루어진다. 시간산포기둥은 시간대별 이동량 분포와 같이 통행자료에 내재한 1차적 속성정보 탐색을 위해, 그리고 평행평면그림은 이동경로 주위의 사회경제적·자연적 속성과 같이 통행자료 외부

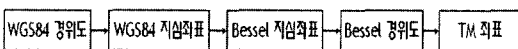


그림 8. GPS 데이터의 좌표변환 과정

의 2차적 속성에 대한 다변량 탐색을 위해 도입된 시각화 도구이다. 또한 개선된 시공간입방체의 바닥면에 주제도를 중첩함으로써 이동경로와 지역상황을 함께 살펴볼 수 있다.

(2) 시간지리학 개념의 표현

시공간입방체는 (i) 시공간경로, (ii) 정거점과 활동꾸러미, (iii) 시공간프리즘의 활동가능공간·활동가능면 등의 시간지리학 개념을 시각화한다. 시공간경로는 수집된 이동점들을 연결하여 시간의 경과에 따라 시간축(꺾) 방향으로 상향하는 이동궤적으로 표현된다(그림 11a). 또한, 시공간경로를 입방체 바닥면에 투영한 2차원 평면경로는, 3차원 입체경로를 공간적으로 요약함으로써 이동경로의 직관적인 파악이 가능하도록 한다(그림 11b).

시공간입방체를 지면과 평행한 각도에서 바라보면,

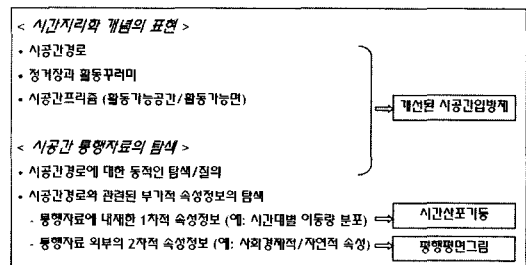


그림 9. 시뮬레이션 환경의 전체적 구성

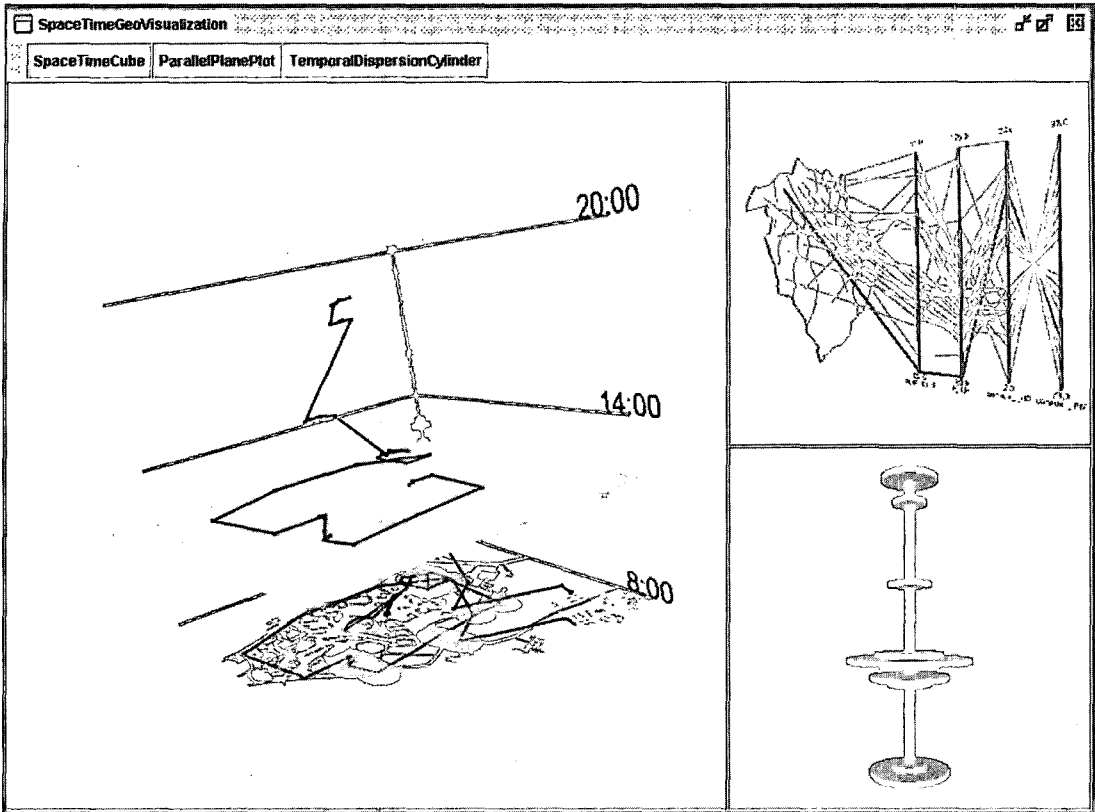


그림 10. 지리적 시각화 환경

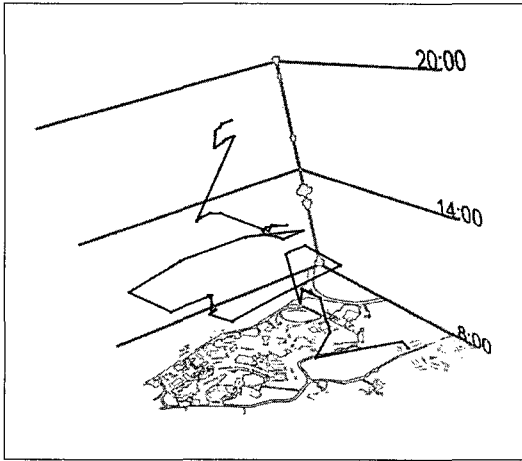
시공간경로 상에서 활동이 집중되는 장소인 정거장을 식별할 수 있다(그림 11c). 장시간에 걸쳐 일정 공간범위 내에 개인통행이 집중하게 되면, 시공간경로 상에서는 x, y 의 변동이 거의 없는 상태로 z 가 증가하게 되므로, 입방체의 시간축에 거의 평행한 직선형태의 경로가 표시된다. 또한, 정거장에서 발생하는 활동에 대한 질의를 통해 활동푸러미를 구할 수 있다.

시공간프리즘은 이용가능시간 내에서 시공간경로 상에 표현되는 시공간적 범위이므로, 통행의 시작점과 끝점 사이에 존재하는 모든 이동점의 공간적 범위를 시간축을 따라 중첩시켜 놓은 것과 같다. 즉, 통행 시작시각과 끝시각 사이의 구간을 일정한 간격으로 분할하면 시간축을 따라 n 개의 시간대(time slot)가 생기고, 각 시간대별 통행의 공간범위는 일정한 두께를 가진 타원의 형태로 표현된다. 이러한 n 개의 공간범위를 시간축에 따라 중첩하면 마치 프리즘과 같은 모양의 입

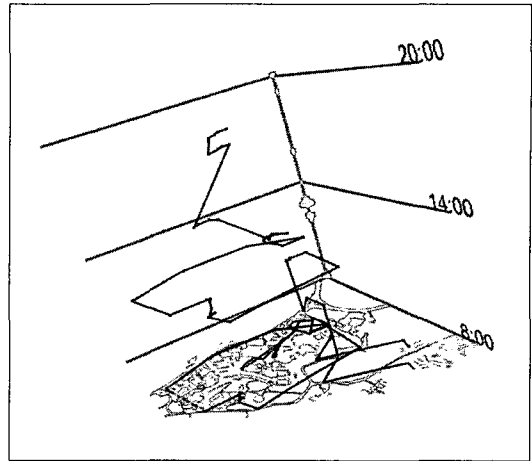
체인 시공간프리즘이 구성되는데, 시공간프리즘 내부에 최대의 입체공간을 그림으로써 통행가능공간을 구하거나, 이를 2차원 평면에 투영하여 통행가능면을 도출할 수 있다(그림 11d).

(3) 시공간 통행자료의 탐색

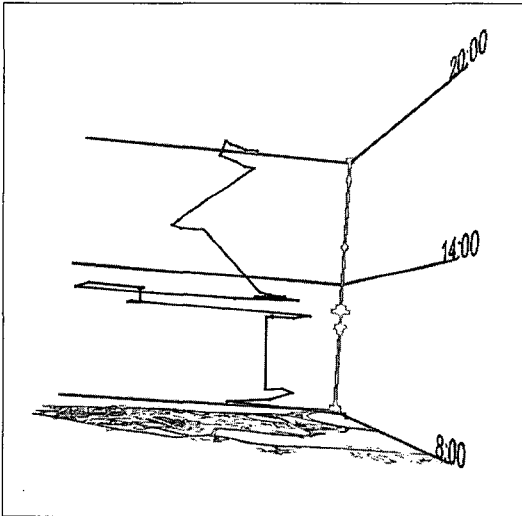
이 연구의 시뮬레이션 환경에서 시공간 통행자료의 탐색은 (i) 시공간경로에 대한 동적인 탐색과 질의, (ii) 시공간경로와 관련된 부가적 속성정보에 대한 탐색으로 구성된다. 개선된 시공간입방체에서 시공간경로에 대한 동적인 탐색과 질의는 확대·축소·이동·회전과 같은 뷰 제어나 평면슬라이더의 조작을 통해 이루어진다. 즉, “언제”, “어디에서”라는 질의조건을 이용하여 특정 시공간 범위에 해당하는 이동경로 정보를 추출하려면, 시공간입방체의 관심영역을 확대하거나(그림 12a) 평면슬라이더를 이용하여 특정시간대에 초



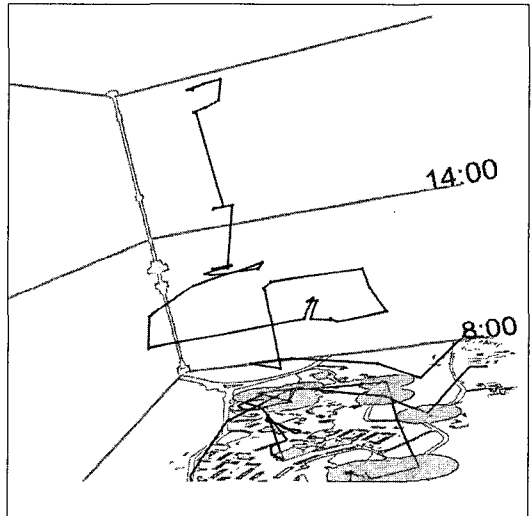
a. 시공간경로



b. 시공간경로의 평면투영



c. 정거장과 활동구리미



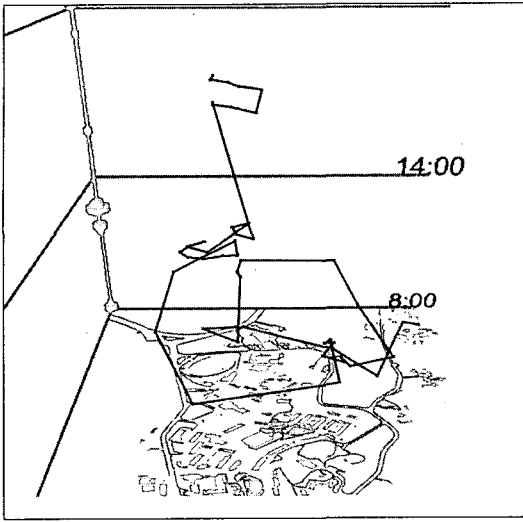
d. 통행가능면

그림 11. 시간지리학 개념의 시각화

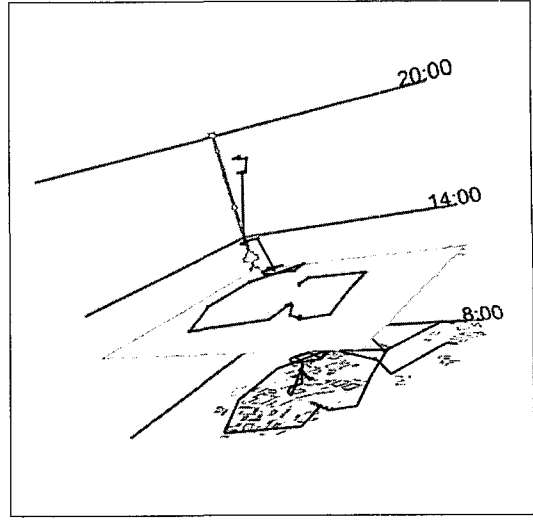
점을 맞추어(그림 12b) 시각적으로 탐색하면 된다. 예를 들어, “오전 및 오후의 통행패턴은 각각 어떠한가?”라는 질의를 수행하기 위해 평면슬라이더를 정오 지점으로 이동하면, 정오를 기준으로 위쪽 시공간경로와 아래쪽 시공간경로가 구분되고, 확대·축소·이동·회전과 같은 뷰 제어를 통해 구체적인 통행패턴을 비교할 수 있다.

통행자료에 내재한 1차적 정보인 이동속도와 이동

량은 시공간경로를 구성하는 개별 선분들을 이용하여 추정한다. GPS 신호가 수신되지 않는 실내공간에서의 통행을 제외하면, 개별 선분 기울기는 단위시간당 이동량에 대응된다. 즉, 완경사는 짧은 시간에 긴 거리를 이동했음을 나타내고, 급경사는 긴 시간에 짧은 거리를 이동했음을 의미한다. 이동방향은 시공간입방체의 뷰 제어를 통해 파악되고, 시간대별 이동량 분포는 시간산포기둥(그림 13a)을 통해 표현된다. 시간산포기둥



a. 뷰 확대를 이용한 탐색



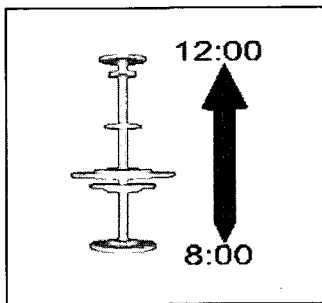
b. 평면슬라이더를 이용한 탐색

그림 12. 시공간입방체의 탐색기능

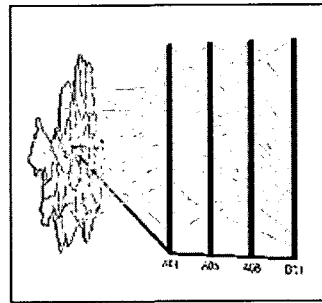
은 모든 이동점들을 시간대별로 묶어서 공간적 변위량을 계산하고, 이를 띠의 굵기로 표현하여 시간축을 따라 배열한 것이다. 시간산포기동을 이용하면 이동량이 많은 시간대 또는 이동량이 적거나 실내에 머무른 시간대 등을 파악할 수 있다.

통행자료 외부의 2차적 정보인 사회경제적·자연적 속성정보에 대한 탐색은 주제도 중첩과 평행평면그림을 통해 이루어진다. 시공간입방체의 바닥면에 도로, 건물, 고도자료, 토지이용 등과 같은 각종 주제도를 중첩하면, 시공간 통행의 이동경로와 주위지역의 사회경

제적·자연적 상황을 함께 살펴볼 수 있다. 또한, 평행 평면그림(그림 13b)은 이동경로 주위지역에 대한 다변량 정보를 제공하므로, 개인의 통행패턴과 지역특성과의 관계를 비교하는데 유용하다. 이동경로와 지역별 다변량 정보를 연결하기 위해서, 이동경로(포인트·라인)와 단위지역(폴리곤)과의 기하학적 교차관계(geometric intersection)를 연산하여, 이동경로의 어느 부분이 배경 단위지역의 어느 부분에 해당하는지의 정보를 프로그램 내부적으로 관리하게 된다. 이러한 모든 지리적 시각화 기능은 시공간입방체, 시간산포기



a. 시간산포기동



b. 평행평면그림

그림 13. 부가적 속성정보의 탐색도구

등, 평행평면그림의 유기적 연결을 통해 제어된다.

4. 결론

이 연구는 GPS 수신기를 통해 수집된 개인통행자료를 이용하여 통행패턴의 시공간적 특성을 다양한 그래픽으로 요약하고 탐색적 분석을 수행할 수 있는 지리적 시각화 환경의 구현에 관한 연구이다. 지리적 시각화의 개념적 요소는 탐색(exploration), 분석(analysis), 표현(presentation), 통합(synthesis)으로 구성되는데, 이 연구에서는 시공간 개인통행자료의 탐색적 분석을 위하여 기존 연구들에서 제시된 표현방법과 새로이 개발한 그래픽 표현들을 통합하는 지리적 시각화 환경을 구현 및 제안하였다.

시공간입방체의 3차원 표현기법을 통해 시공간경로, 정거장과 활동구러미, 시공간프리즈의 활동가능공간·활동가능면과 같은 시간지리학 개념을 시각화하고, 시공간경로에 대해 “언제”, “어디에서”, “무엇을”이라는 세 가지 정보 요소들을 동적으로 탐색 및 질의할 수 있도록 하였다. 또한 시공간경로와 관련된 부가적 속성정보, 즉, 통행자료에 내재한 1차적 정보(이동속도, 이동방향, 이동량)와 통행자료 외부의 2차적 정보(이동경로 주위지역의 사회경제적·자연적 속성정보)를 탐색할 수 있는 환경을 구성하였다.

이 연구는 시공간 개인통행자료의 지리적 시각화를 위한 효율적인 시뮬레이션 환경을 제시한데 그 의의가 있으며, 크게 다음과 같은 두 가지 성과로 요약된다.

첫째, 시공간 개인통행자료의 유용한 표현수단인 시공간입방체를 개선하여 보다 효과적인 지리적 시각화 환경을 구성하였다. 이 연구에서 개선된 시공간입방체는 일반적인 시간지리학 개념의 표현뿐 아니라, 3차원 입체경로와 2차원 평면경로의 결합하여 이동궤적을 표현함으로써 이동경로의 직관적인 파악이 가능하도록 한다. 또한 시공간입방체의 바닥면에 도로, 건물, 고도자료, 토지이용 등과 같은 각종 주제도를 중첩함으로써 시공간 통행의 이동경로와 주위지역의 사회경제적·자연적 상황을 함께 살펴볼 수 있도록 한다. 시공간입방체를 확대·축소·이동·회전하는 기존의 탐색

방법과 함께, 입방체의 시간축을 따라 움직이는 평면 슬라이더를 브라우징 틀로 사용함으로써 시공간경로에 대한 보다 동적인 탐색과 질의를 지원한다.

둘째, 시공간 개인통행자료의 탐색적 분석을 위한 새로운 시각화방법을 도입함으로써 시공간 탐색 및 질의의 폭을 넓혔다. 시공간입방체는 시공간경로의 탐색에 있어서는 효과적이지만, 시공간경로와 관련된 부가적인 속성정보를 탐색하기 위해서는 보조적인 정보표현수단이 필요하다. 이 연구에서는 시간산포기등과 평행평면그림을 시공간입방체와 결합시킴으로써 통행자료에 내재한 1차적 정보와 함께 통행자료 외부의 2차적 정보의 탐색을 위한 시각화 방법을 구현하였다. 시간산포기등은 시간대에 따른 이동량 분포를 제공함으로써 이동량이 많은 시간대 또는 이동량이 적거나 실내에 머무른 시간대 등을 파악할 수 있게 한다. 또한 평행평면그림은 이동경로 주위지역의 사회경제적·자연적 다변량 정보를 제공하므로 개인의 통행패턴과 지역특성과의 관계를 비교하는데 유용하다.

이 연구에서 구현된 개인통행자료 처리를 위한 시뮬레이션 환경은, 이동 중인 개인의 위치정보를 활용하는 위치기반서비스(Location Based Services: LBS)나, 주로 차량의 이동정보를 활용하는 텔레매틱스 등의 무선데이터서비스와도 연계 가능하다. 즉, 이 연구의 GPS 자료수집 애플리케이션은 무선통신과의 결합에 의해 위치기반서비스와 텔레매틱스를 위한 이동객체의 실시간 위치정보 제공으로 확장되고, 3차원 시공간 시각화 애플리케이션은 이동객체의 시공간 모니터링으로 확장됨으로써, 일상생활의 위치정보를 활용하는 무선데이터서비스와 결합될 수 있을 것이다.

文獻

- Andrienko, N., Andrienko, G. and Gatalsky, P., 2003, Exploratory spatio-temporal visualization: an analytical review, *Journal of Visual Languages and Computing*, 14(6), 503-541.
- Cleveland, W. S., 1993, *Visualizing Data*, Hobart Press, Summit, N. J.
- Dykes, J. A. and Mountain, D. M., 2003, Seeking

- structure in records of spatio-temporal behaviour: visualization issues, efforts and applications, *Computational Statistics and Data Analysis*, 43(4), 581-603.
- Edsall, R. M., 2003, The parallel coordinate plot in action: design and use for geographic visualization, *Computational Statistics and Data Analysis*, 43(4), 605-619.
- Hägerstrand, T., 1970, What about people in regional science?, *Papers of the Regional Science Association*, 24, 7-21.
- Kraak, M., 2003, The space-time cube revisited from a geovisualization perspective, *Proceedings of the 21st International Cartographic Conference*, Durban, South Africa, August 2003, 1988-1996.
- Kwan, M., 1998, Space-time and integral measures of individual accessibility: a comparative analysis using a point-based framework, *Geographical Analysis*, 30(3), 191-216.
- _____, 2000, Interactive geovisualization of activity-travel patterns using three-dimensional geographical information systems: a methodological exploration with a large data set, *Transportation Research Part C*, 8, 185-203.
- Lenntorp, B., 1976, *Paths in Space-Time Environments: A Time-Geographic Study of the Movement Possibilities of Individuals*, Lund Studies in Geography, Series B, No. 44, Lund University Press, Lund, Sweden.
- MacEachren, A. M., 1995, *How Maps Work: Representation, Visualization and Design*, Guilford Press, New York.
- MacEachren, A. M. and Kraak, M., 2001, Research challenges in geovisualization, *Cartography and Geographical Information Science*, 28(1), 1-11.
- Miller, H. J., 1991, Modelling accessibility using space-time prism concepts within geographical information systems, *International Journal of Geographical Information Systems*, 5(3), 287-301.
- _____, 1999, Measuring space-time accessibility benefits within transportation network: basic theory and computational procedures, *Geographical Analysis*, 31(2), 187-212.
- _____, 2004, Activities in space and time, in Hensher, D. A., Button, K. J., Haynes, K. E. and Stopher, P.(eds.), *Handbook of Transport Geography and Spatial Systems*, Elsevier, London.
- Miller, H. J. and Wu, Y. H., 2002, GIS software for measuring space-time accessibility in transportation planning and analysis, *GeoInformatica*, 4(2), 141-159.
- Mountain, D., 2004, Exploring mobile trajectories: interactive approaches for spatio-temporal data, *Poster for EUROESCO GeoVisualization Conference*, Kolymbari, Crete, March 2004.
- O'Sullivan, D., Morrison, A. and Shearer, J., 2000, Using desktop GIS for the investigation of accessibility by public transport: an isochrone approach, *International Journal of Geographical Information Science*, 14(1), 85-104.
- Peuquet, D. J., 1994, It's about time: a conceptual framework for the representation of temporal dynamics in geographic information systems, *Annals of the Association of American Geographers*, 84(3), 441-461.
- Rinner, C., 2004, Three-dimensional visualization of activity-travel patterns, *Proceedings of the Munster GI Days*, Munster, Germany, July 2004, 231-237.
- Vasiliev, I. R., 1997, Mapping time, *Cartographica*, 34(2), 1-51.
- Weber, J. and Kwan, M., 2002, Bring time back in: a study on the influence of travel time variations and facility opening hours on individual accessibility, *Professional Geographer*, 54(2), 226-240.
- 교신 : 박기호, 151-742, 서울시 관악구 서울대학교 사회과학대학 지리학과(이메일 : khp@snu.ac.kr)
- Correspondence: Key-Ho Park, Department of Geography, College of Social Sciences, Seoul National University, Seoul 151-742, Korea (khp@snu.ac.kr)

최초투고일 05. 3. 8

최종접수일 05. 4. 21