

인접하는 수치지도 간의 경계영역 불일치 보정

Correcting Inconsistency on the Boundary of Neighboring Maps

김 원 태 * 김 학 철 ** 이 기 준 *** 안 병 익 * 김 성 룡 *

Won-Tae Kim Hak-Cheol Kim Ki-joune Li Byeung-ik Ahn Seung-Ryong Kim

要 旨

인접하는 수치지도 경계상의 불일치 문제를 해결하기 위해서 중간선 방법이 광범위하게 사용되어 왔다. 하지만, 이 방법은 인접하는 경계선 주위의 객체에 대해서 위상정보의 일관성을 상실하거나 정확도의 저하를 초래할 수 있다. 본 논문에서는 이러한 중간선 방법의 문제점을 해결하기 위해서 두 가지 에지 매칭 방법을 제시한다. 첫 번째 방법은 경계선 주위에 위치하고 있는 객체에 대해서 신축적으로 변환하는 러버쉬팅에 기초한 방법이다. 두 번째 방법은 경계선으로부터의 거리 함수를 이용하여 객체들의 기하적인 정보를 변환한다. 이러한 방법들은 이전의 방법에 비해서 위상정보를 유지하고 정확도를 향상시키는 장점이 있다.

ABSTRACT

In order to correct mismatches between neighboring digital maps, the middle line method has been widely used. However, it may result in not only a corruption of the topological consistency between the objects near to boundaries but also degeneration of accuracy. In this paper, we propose two edge-matching methods to overcome the problem of the middle line method. The first method is based on the rubber sheeting, which performs an elastic transformation for the objects located around the boundaries. The second method transforms the geometry of objects by the function of the distance from the boundary. These methods have important advantages that they preserve the topology of the original maps and improve the accuracy, compared with the previous methods.

1. 서 론

지리 정보 시스템(Geographical Information System : GIS)은 대용량의 지리적인 데이터를 효과적으로 저장, 갱신, 조정 및 분석하여 지형 정보를 검색하는 컴

퓨터 시스템이다. 이 때문에 오늘날 지리 정보 시스템을 사용하는 정부 기관이나 상업용 소프트웨어는 날로 증가하는 추세에 있다. 이와 같은 지리 정보 시스템의 성능은 지리 정보 시스템에서 사용하는 데이터가 정확한 값을 가질수록 높은 신뢰도를 가진 시스템

* 한국통신 정보기술

** 부산대학교 전자 계산학과 박사과정

*** 부산대학교 전자 계산학과 조교수

이라고 할 수 있다.

국가지리정보체계구축 기본 계획에 의거하여 1995년도부터 추진되고 있는 국가기본도 수치지도 제작사업으로 만들어진 기초 수치지형자료는 종이 지도와는 달리 점, 선, 면 그리고 문자의 요소로 지형지물의 위치나 형상을 수치화된 좌표로 나타낼 수 있고, 이러한 정보들을 사용목적에 맞게 재 가공함으로써 부가 가치를 증대시킬 수 있다. 또한 필요에 의해 정부부처, 지방자치단체 및 정부투자기관이나 민간에 제공되어야 하며, 후에는는 공공GIS활용체계의 기본자료로서의 가치를 가지고 있어야 한다.

지리 정보 시스템을 위한 벡터(Vector) 데이터를 만드는 작업은 지리 정보 시스템에서 가장 많은 비용이 들어가는 부분이며, Blakeman(1987), Morse와 Movey(1990), Thapa 와 Burtch(1990)의 보고서에 의하면 데이터 수집에 들어가는 비용이 지리 정보 시스템의 전체 비용의 80%가 든다고 한다. GIS에서 사용되는 수치지도나 공간 데이터의 정확도는 매우 중요하기 때문에 만약 정확도가 사용자의 요구에 부응하지 못할 경우 많은 비용과 시간을 투자하여 구축한 공간 정보는 무용지물이 될 것이다. 그러나 공간데이터의 품질을 높이기 위해서는 많은 비용과 시간이 소요되므로 모든 사용자들의 욕구를 충족시킬 수 있는 공간 데이터를 구축하는 일은 매우 어렵다.

수치지도가 국가기본도로 사용되기 위해서는 무오류 데이터가 보장되어야 하나 여러 지도제작 용역업체에 의해 작성되기 때문에 용역업체의 전문성이 낮을 경우 오류 발생 가능성이 크고 그 유형도 다양하며, 초기에 발생한 오류 데이터는 여러 단계의 검수를 통해 검출, 보완되었지만 무오류를 보장하기는 어려운 실정이다. 이러한 오류들은 첫째, 수치화된 객체가 참 위치에 얼마나 근접하는지를 나타내는 위치정확도의 오차와 같은 물리적인 불일치, 둘째, 누락된 결점, 가짜 결점, 과단 연결, 과장 연결, 속성점의 누락 또는 중복과 같은 논리적인 불일치, 그리고 마지막으로 속성이나 형상의 식별자에 대한 불일치로 크게 나눌 수 있다.

수치지도는 항상 연결된 지도의 특성을 가진다. 만일 행정경계로 수치지도를 구분한다면 행정경계 내의

모든 지형은 연결되어 있어야 한다. 이때 인접한 도엽간의 연결성이 불량하면 수치지도의 가공에 많은 시간을 소비하여야 할 것이다. 따라서 인접 도엽간의 연결이 되지 않은 경우, 연결이 기준선 상에서 이루어지지 않은 경우, 인접한 요소의 계층이 서로 상이한 경우, 그리고 등고선의 고도값이 서로 맞지 않을 경우 인접 화일간의 오류검색을 해야 한다.

본 논문은 위에서 제시한 지도 제작시 발생할 수 있는 다양한 오류들 중 물리적인 불일치와 논리적인 불일치에 해당하는 인접하는 도엽들 사이의 연속성에 대한 불일치성을 해결하는데 초점을 두는데, 이와 같은 방법을 에지 매칭(Edge Matching)이라 한다. 에지 매칭에 대한 관련 연구들을 살펴보면, R. Laurini는 복수 개의 지리 데이터베이스를 합치면서 발생하는 문제와 해결책을 제시하면서 경계 영역의 정렬과 함께 위상관계 유지의 중요성을 강조하였으며, S. Servigne 와 R. Laurini는 다양한 측량 도구나 측량 방법으로 제공된 다중 자원 정보를 사용함으로써 데이터베이스의 갱신 시 발생하게 되는 지역적, 전역적 불일치 유형을 분류하고 해결방법을 제시하였다. M. G. Cho, K. J. Li, H. G. Cho는 불일치 문제를 두 도엽에 대응되는 다각형 정보에 모핑(Morphing) 알고리즘을 적용하여 변환함수를 생성, 자동 보정 방법을 제안하였으며, 국립 지리원의 수치지도 작성 사업 내규에서는 국립 지리원에서 제작한 수치지도의 실제 GIS 활용상 문제점에 대한 세부적인 분석과 평가를 사례와 설문 조사를 통해 다루고 있다.

본 논문에서는 기존의 연구를 바탕으로 국가 기본도의 활용을 위한 수치지도의 연속적인 지도 구축에 필요한 인접 도엽간 경계영역 불일치 보정 방법들을 분류하고 자동적으로 보정해 주는 새로운 기법을 제시한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 관련 연구 및 에지 매칭의 기본적인 개념과 본 논문에서 제안하는 에지 매칭 방법을 기존의 방법들과 비교 설명하였으며, 3장에서는 러버 쉬팅에 의한 에지 매칭 방법을 소개하였으며, 4장에서는 과급에 의한 에지 매칭 방법을 소개하고 있으며, 5장에서는 본 논문에서 구현된 에지 매칭 시스템에서의 구체적인 자동 보정의 처

리과정을 보이고, 6장에서는 제시된 에지 메칭 방법에 대한 성능 평가와 함께 실험결과를 분석한다. 그리고 마지막으로 7장에서는 결론 및 향후 연구 방향을 기술한다.

2. 에지 메칭

2.1 관련 연구

다중 공간데이터베이스에서 질의가 실행될 때 경계영역 불일치 문제 뿐만 아니라 불일치 문제의 해결시 위상적인 연속성이 보장 되지 않을 수 있다. 그림 2.1은 두 데이터베이스의 경계가 맞지 않고, 건물, 강, 여러 개의 도로가 두 부분으로 잘려져 있으며, 지류의 한 부분이 소실되어 있는 것을 보여준다.

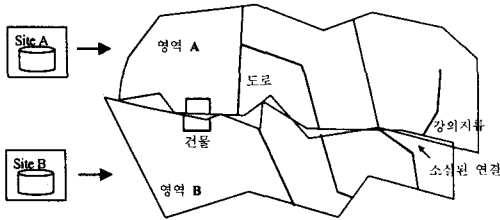


그림 2.1 공간다중 데이터베이스에서 발생 가능한 문제점의 예

위에서 제시된 문제의 해결을 위하여 러버 시팅(rubber-sheeting)을 기반으로 하는 방법이 소개되었다. 이 방법은 경계 영역내의 불일치하는 객체들을 델로니 삼각형을 이용하여 TIN을 구성하여 러버 시팅을 한다. 그리고 이 방법은 모든 데이터베이스에 적용하는 것이 아니라, 질의가 발생했을 때에만 다른 데이터베이스의 내용을 변경시키지 않고 경계영역에 대한 불일치 보정을 한다.[1]

또, 우리가 인접하는 두 영역의 지도의 경계 부분이 일치하지 않을 때 커버리지를 확장해야 하는데, 이때 제어점을 선택하고 제어점을 토대로 경계영역 부근에 탄성적인 변환(elastic transformation)을 수행함으로써

일정 범위내에 속하는 객체들이 이동되며 어떤 다른 규약들을 고려할 수도 있다.[3]

최근 P. Langlois[9]는 탄성적 변환에 적합한 방법을 제시하였다. 그림 2.2 그것은 점으로부터 멀어질수록 감소하며, 점과 k-th기등 사이의 유클리드 거리는 $d_k(x,y)$ 이며, 제안한 식은 다음과 같다.

$$d_k(x,y) = \sqrt{(x_k - x)^2 + (y_k - y)^2}$$

$$w_k(x,y) = \frac{d_k(x,y)^{-2}}{\sum_{j=1,n} d_j(x,y)^{-2}}$$

점들의 부근에서 $w_k(x_j,y_j)=0$ 이 되는 문제점을 피하기 위해 식은 다음과 같이 변형된다.

$$w_k(x,y) = \frac{1}{1 + d_k(x,y)^2 \sum_{j=1,n} d_j(x,y)^{-2}}$$

이러한 방법은 스와스(swath) 영역에 위치하는 어떤 점을 변형시키는 방법이지만, 사각형성과 평행성과 같은 규약은 유지되지 않는다.

이러한 한계를 극복하기 위해서는 더 복잡한 방법이 개발되어야 한다. 이러한 방법은 영역 병합이나 커버리지 확장과 같은 경우에 적용되어질 수 있다

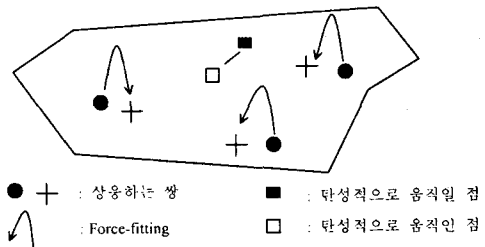


그림 2.2 탄성적 Force-fitting

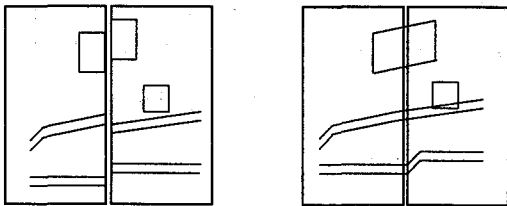
2.2 에지 메칭

수치지도는 인접한 도엽간에 항상 연결된 특성을 가져야 하는데 현실적으로 앞에서 제시한 것과 같은

문제로 인해 무결성을 보장하기는 어렵다. 따라서 이러한 인접한 도엽간에 존재하는 객체들에 대한 불일치를 보정하는 것을 에지 매칭이라고 한다. 에지 매칭의 목적은 존재하는 벡터화된 수치지도에 있어서 인접한 도엽간에 걸쳐 지류, 건물, 및 등고선 등을 구성하는 객체들이 서로 일치되어 자연스럽게 연결되는지를 검사하여 객체가 일치하지 않는 부분을 보정해 줌으로써 연속적인 지도를 구축하는 것이다.

지도는 이용 목적에 따라 제작 과정에서 투영 방법의 차이와 기준점의 차이, 입력 오차 등의 여러 가지 문제로 인해 많은 불일치가 발생한다. 이것을 수치지도화하여 데이터베이스화할 경우 입력된 지리 정보에 대해 일관성을 유지하기란 쉽지 않다. 특히 하나의 수치지도 내에서가 아닌 인접하는 도엽간의 불일치는 공간 객체의 연속적인 특성에 위배되는 심각한 문제를 야기할 수 있다. 복수 개의 인접하는 수치지도가 합쳐질 때 실행될 선형 네트워크 분석 응용 프로그램이나 연속적인 데이터베이스의 생성과 같은 것이 에지 매칭의 중요성이 부각되는 그 일례라 할 수 있겠다.

그러나 지금까지 대부분의 에지 매칭 방법을 살펴보면 이러한 인접하는 도엽간 경계 영역 불일치 문제에 대해 수치지도의 특성을 고려하지 않은 무리한 보정으로 인해, 공간 객체들이 부자연스러운 형태로 변형되거나, 원래 가지고 있던 기하학적인 특성을 깨뜨리는 결과를 초래하는 경우가 많았다. 또, 다중 공간 데이터베이스에서 질의가 실행될 때 경계영역의 불일치 문제뿐만 아니라 불일치 문제의 해결시 발생하는 위상적인 관계의 변형 또한 간과할 수 없는 문제이다.



<보정전>

<보정후>

그림 23 부적절한 에지 매칭시 발생 가능한 문제점의 예

그림 2.3은 부적합한 에지 매칭 방법의 적용시 발생할 수 있는 문제들에 대해 보여준다. 즉, 사각형의 건물이 평행사변형 모양으로 변하는 것 등과 같은 기하학적 특성의 심각한 변형이 일어나는 경우나, 도로와 건물은 교차할 수 없다는 위상조건에 위배되는 결과를 초래하는 경우가 발생할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 단순히 인접하는 도엽간의 불일치를 보정해주는 에지 매칭의 기본적인 기능의 수행만이 아니라, 위에서 제시한 바와 같은 에지 매칭시 발생할 수 있는 부가적인 오류들을 최소화할 수 있는 방법을 제시한다. 따라서 공간 객체에 대한 기하학적인 변형은 최소화하고 객체들간의 위상정보는 최대한 유지시켜 줄 수 있다.

3. 러버 슈팅에 의한 방법

3.1 소개

인접하는 도엽간의 경계 영역내의 불일치 하는 객체들을 딜로니 삼각화를 이용하여 딜로니 삼각형을 생성한 다음 삼각형 영역에 포함된 객체에 대해 대응되는 삼각형과의 삼각형 외핑을 통해 객체를 변형시키는 방법이다. 이때 스와스를 지정해 줌으로써 러버 슈팅이 적용될 범위 영역을 지정해 줄 수 있다. 스와스란 에지 매칭을 위한 변형이 적용될 범위를 나타내며, 이러한 스와스의 지정으로 인해 인접하는 도엽간의 경계영역 부근에서 변형이 가장 잘 이루어지며, 스와스의 끝에서는 변형이 일어나지 않는다. 달리 말하면 모든 것을 강제로 맞추기 위해 왜곡은 도엽간의 경계영역 부근에서는 중요하지만 스와스의 끝에서는 변형이 일어나지 않는다. 달리 말하면 모든 것을 강제로 맞추기 위해 왜곡은 도엽간의 경계영역 부근에서는 중요하지만 스와스의 끝에서는 필요하지가 않다. 이와 같이 수치지도 영역 전체에 대해 에지 매칭을 적용할 지, 아니면 스와스를 지정함으로써 수치지도의 일부 영역에 대해서만 에지 매칭을 적용할 지를 선택할 수 있다.

그림 3.1은 에지 매칭에 스와스가 이용되는 예를 보

여주고 있다.

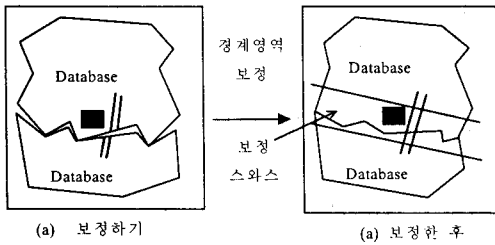


그림 3.1 스와스를 고려한 에지매칭의 예

3.2 예제

불일치 보정의 대상이 일치하지 않은 객체 뿐만 아니라 그 객체 주변에 위치하는 다른 객체들에게도 영향을 미치는 방법으로 불일치가 발생하는 경계영역의 해당 객체를 보정하면서 그것으로 인해 발생할 수 있는 위상관계의 오류를 최소한으로 줄일 수 있다. 이에 대한 예제는 그림 3.2를 통하여 보여 주고 있다.

이 방법은 위상관계를 중요시하는 경우에는 효과적으로 이용될 수 있지만 위상관계 유지를 위해 각 객체들의 위치 정확성이 다소 보장되지 않는 단점이 있다.

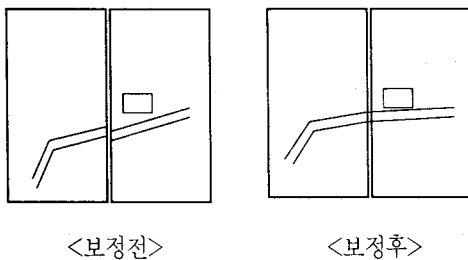


그림 3.2 위상정보를 고려한 에지매칭의 예

3.3 특징

본 논문에서 구현한 시스템에서의 스와스 지정은 사용자가 직접 입력하는 방법을 사용하였으며, 사용자는 경계영역의 불일치 특성을 고려하여 수치지도 전체 너비의 백분율로 스와스를 임의로 지정할 수 있다.

이 때 스와스를 100%로 지정하게 되면 스와스를 고려하지 않고 리버 슈팅을 수행하는 것과 같은 효과를 줄 수 있다.

또, 딜로니 삼각형을 생성하기 위하여 제어점을 사용하는데, 스와스 영역 내에서만 지정될 수 있다. 객체를 구성하는 점이 제어점으로 선택되었다면 보정 후에도 그 점의 좌표는 변하지 않는다.

본 논문에서 구현한 시스템에서 제공되는 스와스상의 제어점 선택 방법은 2가지이다. 하나는 스와스와 수치지도상의 객체가 교차하는 점을 제어점으로 선택하는 방법이고, 다른 하나는 스와스상에 두 수치지도의 경계영역에서 연속성이 예상되는 객체의 쌍들의 개수만큼 일정한 간격으로 제어점을 지정하는 것이다.

또, 스와스내에 포함되는 수치지도의 객체 중 기준점과 같이 변환되어서는 안 될 객체에 대해 제어점으로 이용함으로써 원하지 않는 오류의 발생을 방지할 수도 있다.

다음으로 리버 슈팅을 적용할 딜로니 삼각형을 생성하기 위해 딜로니 삼각화를 이용한다. 딜로니 삼각화(이하 DT)는 보로노이 다이어그램(VD, Voronoi Diagram)의 쌍대 그래프로써 공간 객체들을 삼각 분할하여 평면 그래프로 나타내는 방법의 하나이며, 그 결과로 생성되는 그래프를 TIN(Triangulated Irregular Network)이라 부른다. VD는 두 공간 객체가 위치하는 공간을 반으로 나누는 수직 이등 선분들의 집합이다. 이 수직 이등 선분들로 이루어지는 평면들을 보로노이 평면이라 부르는데, 이들은 모두 볼록 다각형이라는 특성을 가진다. 이 VD로부터 DT의 생성은 직선들을 추가함으로써 가능하다. 즉, 하나의 보로노이 에지에 대하여 그와 수직이면서 보로노이 에지에 의하여 두 공간으로 분리된 두 공간 객체를 잇는 직선을 그으면 되는 것이다.

마지막으로 생성된 딜로니 삼각형을 이용하여 삼각형 왜핑(warping)을 적용한다. 삼각형 왜핑은 일차원상의 선형 변환을 이차원상으로 확장한 것이다. 그림 3.3과 같이 삼각형 (PS1, PS2, PS3)와 (PT1, PT2, PT3)는 각각 인접하는 도엽간의 대응되는 객체의 끝점과 제어점들로 생성된 TIN 데이터의 삼각형이며, 보정 대상이 되는 도엽 내의 객체를 구성하는 점 PS가

삼각형 (PS1, PS2, PS3)에 포함될 때 대응되는 삼각형 (PT1, PT2, PT3)로부터 보정된 점 PT 를 구하는 것이다. 이 경우 보정 될 점은 삼각형의 세 꼭지점으로 부터 가까이 위치할수록 영향을 크게 받으며, 멀리 위치할수록 영향을 적게 받는다. 또, 생성된 딜로니 삼각형이 정삼각형에 가까울수록 불일치가 일어나는 객체의 보정시 오차가 줄어든다.

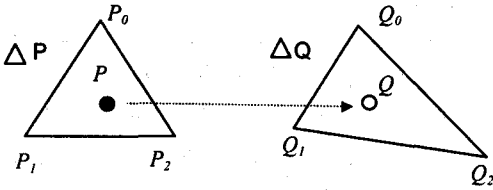


그림 3.3 삼각형 와핑의 예

보정 대상이 되는 도엽 내의 객체를 구성하는 한 점 P (XP, YP)로부터 와핑을 수행한 결과 생성되는 점 Q (XQ, YQ)를 구하는 과정은 다음과 같다.

$$X_p = \lambda_0 X_{P0} + \lambda_1 X_{P1} + \lambda_2 X_{P2}$$

$$Y_p = \lambda_0 Y_{P0} + \lambda_1 Y_{P1} + \lambda_2 Y_{P2}$$

$$\lambda_0 + \lambda_1 + \lambda_2 = 1$$

여기서 P0(XP0, YP0), P1(XP1, YP1), P2(XP2, YP2) 는 삼각형의 꼭지점들이고, $\lambda_0, \lambda_1, \lambda_2$ 는 0에서 1 사이의 값을 가지는, 점과 대응되는 변 사이의 비거리를 나타내는 선형 함수이다.

$$X_p = \lambda_0 X_{P0} + \lambda_1 X_{P1} + \lambda_2 X_{P2}$$

$$Y_p = \lambda_0 Y_{P0} + \lambda_1 Y_{P1} + \lambda_2 Y_{P2}$$

$$\lambda_0 + \lambda_1 + \lambda_2 = 1$$

위 식들에서 $\lambda_0, \lambda_1, \lambda_2$ 를 구하면

$$\lambda_0 = \frac{(X_{P0} - X_{P1})(Y_P - Y_{P2}) + (X_{P0} - X_{P2})(Y_{P1} - Y_P) + (X_{P0} - X_{P1})(Y_{P2} - Y_{P1})}{(X_{P0} - X_{P1})(Y_{P0} - Y_{P2}) - (Y_{P0} - Y_{P1})(X_{P0} - X_{P2})}$$

$$\lambda_1 = \frac{(X_{P0} - X_P)(Y_{P0} - Y_{P2}) - (Y_{P0} - Y_P)(X_{P0} - X_{P2})}{(X_{P0} - X_{P1})(Y_{P0} - Y_{P2}) - (Y_{P0} - Y_{P1})(X_{P0} - X_{P2})}$$

$$\lambda_2 = \frac{(X_{P0} - X_{P1})(Y_{P0} - Y_P) - (X_{P0} - X_P)(Y_{P0} - Y_{P1})}{(X_{P0} - X_{P1})(Y_{P0} - Y_{P2}) - (Y_{P0} - Y_{P1})(X_{P0} - X_{P2})}$$

따라서, 와핑을 수행한 결과 생성되는 점 Q(XQ, YQ)는

$$X_Q = \lambda_0 X_{Q0} + \lambda_1 X_{Q1} + \lambda_2 X_{Q2}$$

$$Y_Q = \lambda_0 Y_{Q0} + \lambda_1 Y_{Q1} + \lambda_2 Y_{Q2}$$

3.4 적용 알고리즘

여기서, makeHomologousPairOfTriangles는 생성된 딜로니 삼각형들을 서로 대응되는 것끼리 쌍을 맺어 주는 함수이며, containingTriangle은 수치지도 스와스 영역내에 위치한 객체를 구성하는 점 p를 포함하는 딜로니 삼각형 t를 찾는 함수이며, warpingPoint는 삼각형 t 안에 위치한 점 p를 t와 대응되는 딜로니 삼각형 t'로 와핑하는 함수이다.

```

algorithm rubbersheetingMatching;
begin
    makeControlPoints();
    makeTIN();
    makeHomologousPairOfTriangles();
    for all points p ∈ objects in the swath
    begin
        t = containingTriangle(p);
        p' = warpingPoint(p, t, t');
        // t' is a homologous pair of triangle t
    end;
end;
    
```

4. 파급(Propagation)에 의한 방법

4.1 소개

인접하는 도엽간의 경계영역 부근에 있는 객체들 중 연속성이 예상되는 객체에 대해 불일치를 보정할 때 객체를 구성하는 점들에 대해 경계점으로부터의 거리에 일정한 비율로 좌표를 이동, 변형시키는 방법

이며, 이 때 거리가 멀수록 변형의 영향을 덜 받기 때문에 끝점만 일치시키는 기존의 방법들에 비해 객체의 기하학적인 형태의 변형을 최소화할 수 있다.

4.2 예제

보정의 대상이 불일치가 발생하는 객체에 한해서만 적용되는 방법으로 수행 속도 및 보정 성공률은 높으나, 이 경우 불일치 보정 대상에 해당되지 않는 객체들과의 위상관계를 고려하지 않기 때문에 도로 객체가 건물 객체와 교차하는 것과 같은 위상관계의 변형이 일어날 수 있다. 위상 정보를 고려하지 않은 예지 매칭에 대한 예제를 그림 4.1을 통하여 보여 주고 있다.

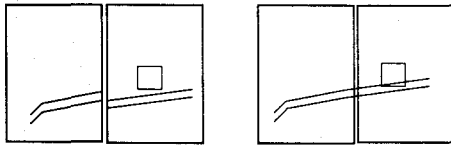


그림 4.1 위상정보를 고려하지 않은 예지매칭의 예

4.3 특징

불일치가 일어나는 객체의 단락된 끝점만 보정해주는 기존의 방법들이 원래 객체의 형태를 심각하게 변화시키기 때문에 중요한 기하학적 규약들이 파괴될 수 있다. 이에 사용자가 임의로 보정될 객체의 변화가 일어날 범위를 정하고, 보정되는 객체의 끝점 뿐만 아니라 그 객체를 구성하는 점들 중 주어진 범위에 속하는 모든 점들이 보정의 영향을 받음으로써 보다 유연성 있는 객체의 보정을 가능하게 하는 것이 이 방법의 목적이다.

과급도(degree)란 불일치가 일어나는 다각선의 끝점으로부터 다각선을 이루고 있는 객체 노드들에 대해 순서대로 번호화 한 것이다. 과급도는 알고리즘이 적용될 범위를 지정하기 위해 사용된다. 즉 주어진 과급도에 따라 보정 될 다각선의 부분이 결정된다. 예를 들어 과급도가 0으로 주어지면 다각선을 객체 노드들의 좌표 변환은 일어나지 않으며, 과급도가 N으로 주

어지면 다각선의 끝점으로부터 N번째 객체 노드까지 좌표 변환이 일어난다.

여기서 transformPoint는 원래의 객체를 구성하는 점들을 그 객체의 단락된 끝점의 보정되는 거리에 일정한 비율로 보정해 주는 기능을 하는 함수이다.

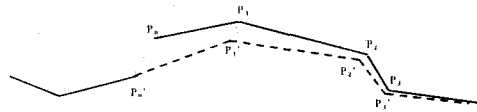


그림 4.2 과급에 의한 보정의 예

그림 4.2에서,

$$\Delta x = p_0 x - p_0' x$$

$$\Delta y = p_0 y - p_0' y$$

$$p_n' x = p_n \cdot x + \Delta x / (p_0 \cdot x - p_n \cdot x)^2$$

$$p_n' y = p_n \cdot y + \Delta y / (p_0 \cdot y - p_n \cdot y)^2$$

4.4 적용 알고리즘

```

algorithm propagationMatching;
begin
  for all points p ∈ homologous pair of
    objects for each map
    begin
      reset count;
      for all points in the object
      begin
        if (ABS(obj.pos - count) < degree)
          // obj.pos is the position of
          // cutting point in objects
          // degree is a pre-defined value
          p' = transformPoint(p0, p'0, p);
          // p0 and p'0 is a end point of
          // homologous pair of
          // objects in two maps
          increase count;
        end;
      end;
    end;
  end;

```

5. 예지 매칭 시스템 구현

본 장에서는 자동 보정 알고리즘의 주요 부분을 프로그래밍하여 실제 데이터를 단계적으로 처리하는 과

정을 다루었으며, 자동 보정 처리 결과를 분석하여 결과의 정확성을 검증한다.

5.1 시스템 구조

인접하는 두 수치지도의 경계영역을 비교하여 연속되는 객체로 예상되는 쌍을 찾아 이것을 기초로 하여 불일치하는 정보들을 수정, 보완하는 과정을 거침으로써

인접하는 수치지도 간의 연속성을 보장하여 줄 수 있다.

인접하는 수치지도 간의 경계영역 불일치 보정 처리 과정은 크게 전처리, 위치 보정의 두 단계로 구분되며 각 단계별 세부 처리 내용은 다음과 같으며, 아래의 그림 5.1는 에지 매칭 작업 과정을 보여주기 위해 사용된 원시 데이터이며, 그림 5.2는 에지 매칭 시스템의 흐름도이다.

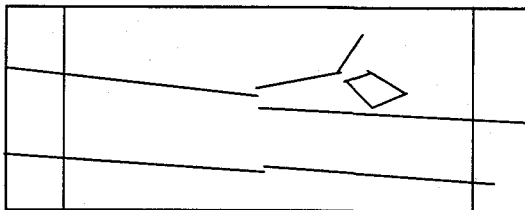


그림 5.1 에지매칭에 사용된 원시 데이터

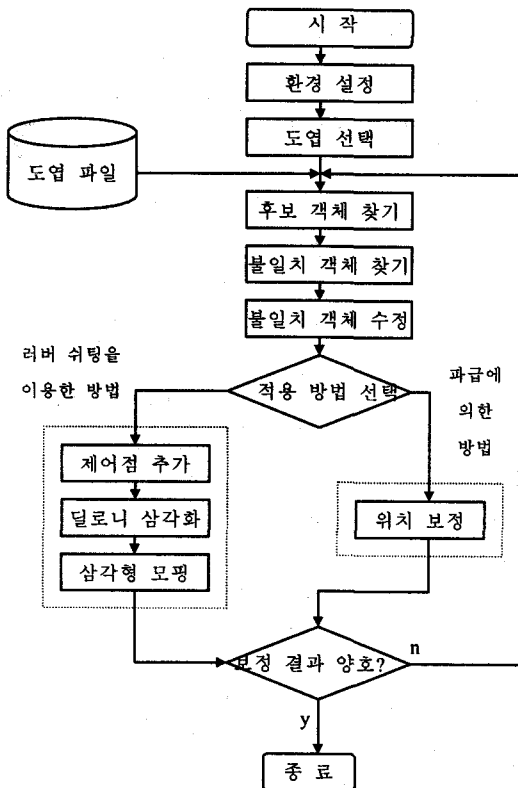


그림 5.2 에지 매칭 시스템의 흐름도

5.2 전처리

인접하는 두 수치지도의 경계선으로부터 일정 거리 이내에 포함되는 모든 객체들과 함께 그것을 구성하는 노드들이 후보 객체 노드로 선택된 후 추출된 후보 객체 노드들을 대상으로 도엽간 후보 객체 노드들 간의 거리를 이용하여 실제로 연속되는 객체들을 이루는 후보 객체 노드만 여과하는 과정이다. 여기서 우선 자동으로 연속성이 예상되는 후보 객체 노드들의 대응되는 쌍을 여과한 다음 그 결과를 검토한 후 시각적인 인터페이스를 이용하여 사용자가 직접 여과된 내용을 수정할 수 있는 기능을 제공함으로써 객체간의 거리만으로 대응되는 쌍을 찾아내는 자동 추출 기능만의 단점을 보완하여 보정 성공률을 높일 수 있다.

그림 5.3은 자동으로 추출된 후보 객체 노드들을 보여주고 있으며, 그림 5.4는 추출된 후보 객체 노드들을 대상으로 도엽간 후보 객체 노드들간의 거리를 이용하여 자동으로 연속성이 예상되는 객체의 대응되는 쌍을 여과한 후의 모습을 보여주고 있으며, 그림 5.5는 자동 추출 과정 후 보정 성공률을 높이기 위해 사용자가 직접 자동 추출 후 여과된 객체의 대응되는 쌍을 시각적인 인터페이스를 이용하여 수정하는 과정을 보여주고 있다.

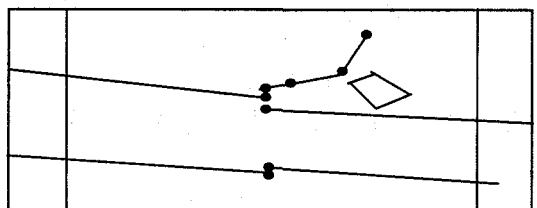


그림 5.3 자동 추출된 후보 객체 노드

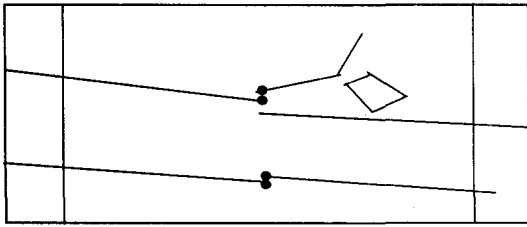


그림 5.4 후보 객체 노드의 여과

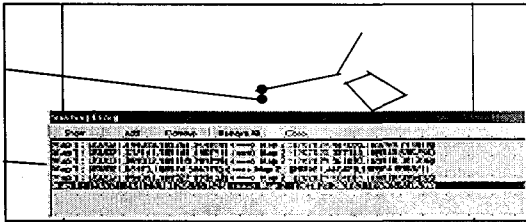


그림 5.5 여과된 객체 노드에 대한 수정

5.3 위치 보정

5.3.1 과급에 의한 방법

사용자가 임의로 보정될 객체의 변화가 일어날 보정의 범위를 정해줌으로써 보다 유연성 있는 객체의 보정을 가능하게 하는 방법이다. 이를 위해서 보정하기 전에 보정을 수행할 과급도 값을 지정해 주어야 한다. 대부분의 GIS에서는 과급도가 1인 경우만 제공을 하는데, 본 시스템에서는 보정되는 객체의 모든 점들을 보정의 대상으로 만들 수 있다. 그림 5.6은 과급을 이용하여 경계영역간 불일치되는 객체를보정한 후의 모습을 보여주고 있다. 물론 이 방법은 러버 쉬팅을 이용하는 방법에 비해 보정해야 할 객체의 범위가 적으므로 수행되는데 걸리는 시간이 적다.

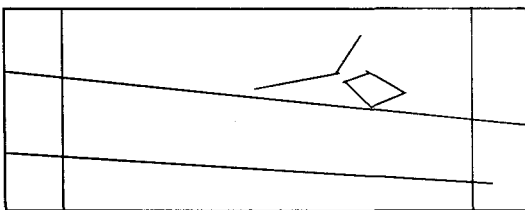


그림 5.6 과급에 의한에지 메칭의 수행 결과

5.3.2 스와스를 고려한 러버 쉬팅

보정을 적용할 범위를 정하기 위해 우선 스와스를 지정해야 한다. 스와스 외부에 속하는 객체에 대해서는 연산이 적용되지 않기 때문에 스와스의 크기와 수행속도와는 반비례 관계에 있으며, 사용자가 전체 수치지도의 너비에 대한 백분율로 부여하는 스와스 범위에 포함되는 객체에 대해서만 보정이 적용된다. 이 스와스 내의 영역에 대해 제어점 C를 추가하여 그림 5.7와 같이 델로니 삼각형을 생성한 후 보정 대상이 되는 수치지도에 생성된 델로니 삼각형 N1N2C에 포함된 객체 노드 P에 대해 그 삼각형에 대응되는 델로니 삼각형 M1M2C로 삼각형 왜곡을 수행하는 것이다.

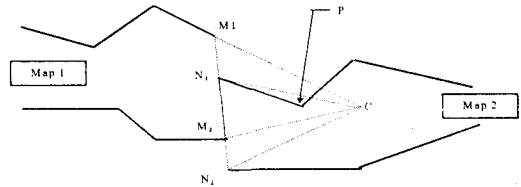


그림 5.7 러버 쉬팅을 이용한 방법의 적용예

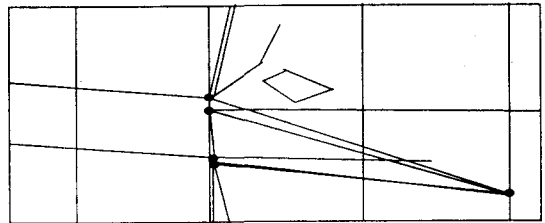


그림 5.8 5%의 스와스를 이용한 델로니 삼각화의 예

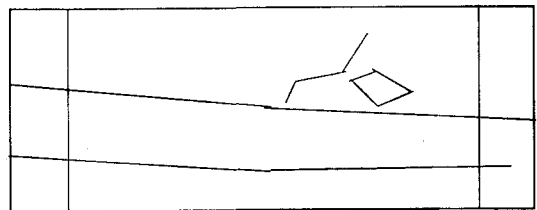


그림 5.9 러버 쉬팅을 이용한 에지 메칭의 수행 결과

그림 5.8은 스와스를 5%로 부여하였을 때 만들어지는 델로니 삼각형의 모습을 보여주고 있으며, 그림 5.9

는 생성된 러버 쉬팅을 이용하여 에지 매칭을 수행한 결과를 보여주고 있다.

6. 비교 연구

6.1 평가 기준(Criteria) 정의

6.1.1 위상적인 제약조건

위상 정보는 공간 정보의 한 가지 종류로써 공간 객체를 유클리드 기하학적인 표현(좌표에 의한 표현)이 아닌 객체들 간의 상대적인 관계로 나타내는 GIS에서 사용되는 매우 중요한 정보 중의 하나이다. 그러나, 인접하는 수치지도에서 경계영역 내의 불일치하는 객체에 연속성을 보장해 주기 위해 보정 기법을 적용할 때 보정하기 전과 보정한 후의 수치지도 내의 위상관계가 변할 수 있다. 따라서 위상관계가 얼마나 잘 유지되느냐에 따라 에지 매칭의 성능을 평가할 수 있다.

6.1.2 기하학적 제약조건

위상관계의 유지 못지 않게 중요한 것이 기하학적인 제약조건을 만족하느냐 하는 것이다. 즉, 보정하기 전 객체와 비교해 볼 때 보정 후에 그 객체의 기하학적인 형태가 얼마나 유지되는가를 에지 매칭 성능 평가의 두 번째 기준으로 정한다. 이를 위해 객체를 구성하는 점들간의 거리의 보존도 d와 에지들 간의 각도 유지도를 측정 척도로 사용하였다.

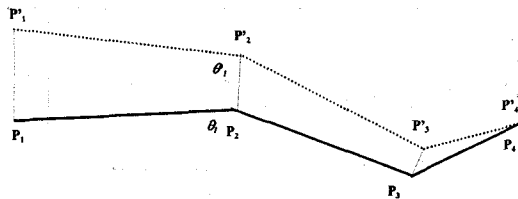


그림 6.1 에지 매칭이 적용되는 객체

거리의 보존도 d와 에지들 간의 각도 유지도를 구하는 식은 그림 6.1에 있는 객체를 예로 들 때,

$$\Delta x = p_0 \cdot x - p_0' \cdot x$$

$$\Delta y = p_0 \cdot y - p_0' \cdot y$$

$$p_n' \cdot x = p_n \cdot x + \Delta x / p_0 \cdot x - p_n \cdot x)^2$$

$$p_n' \cdot y = p_n \cdot y + \Delta y / p_0 \cdot y - p_n \cdot y)^2$$

$$d_n = \sqrt{(p_n \cdot x - p_{(n-1)} \cdot x)^2 + (p_n \cdot y - p_{(n-1)} \cdot y)^2}$$

$$d_n' = \sqrt{(p_n' \cdot x - p_{(n-1)}' \cdot x)^2 + (p_n' \cdot y - p_{(n-1)}' \cdot y)^2}$$

$$\sigma_d = \sqrt{\frac{\sum (d - d')^2}{n}}$$

$$m_1 = \frac{(p_{(n+1)} \cdot y - p_n \cdot y)}{(p_{(n+1)} \cdot x - p_n \cdot x)}, \quad m_2 = \frac{(p_n \cdot y - p_{(n-1)} \cdot y)}{(p_n \cdot x - p_{(n-1)} \cdot x)}$$

$$m_1' = \frac{(p_{(n+1)}' \cdot y - p_n' \cdot y)}{(p_{(n+1)}' \cdot x - p_n' \cdot x)}, \quad m_2' = \frac{(p_n' \cdot y - p_{(n-1)}' \cdot y)}{(p_n' \cdot x - p_{(n-1)}' \cdot x)}$$

$$\angle \theta = \arctan\left(\frac{m_1 - m_2}{1 + m_1 m_2}\right), \quad \angle \theta' = \arctan\left(\frac{m_1' - m_2'}{1 + m_1' m_2'}\right)$$

$$\sigma_\theta = \sqrt{\frac{\sum (\theta - \theta')^2}{n}}$$

와 같다.

실험에 쓰인 자료는 부산 일부 지역의 1:1000 기본도를 사용하였으며, 성능 평가를 위해 인접 도엽간 불일치 오류를 수동 조작하여 생성하였다.

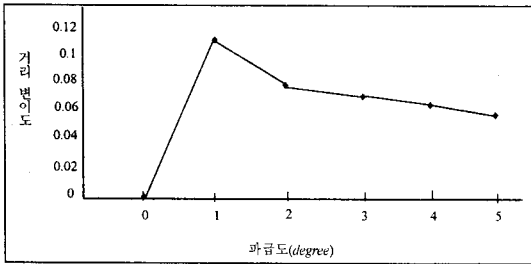
6.2 실험 결과 및 분석

위상적인 제약조건의 만족도를 실험에 의해 살펴본 결과 그림 5.9와 같이 기존의 방법들에 비해 위상적인 관계가 상당히 보존되는 것을 시각적으로 확인할 수 있었으나, 생성된 딜로니 삼각형에서 대응되는 쌍이 존재하지 않을 경우에는 에지 매칭이 이루어지지 않은 것을 발견하였다. 그리고 기하학적 제약조건의 실험에서는 파급에 의한 방법의 적용시 파급수를 높일수록 기하학적 형태가 더 보존되었으며, 한 도엽에만 에지 매칭을 적용하는 것 보다.

두 도엽 모두에 적용하는 것이 기하학적 제약조건을 더 만족한다는 것을 알 수 있다. 그리고 에지들 간

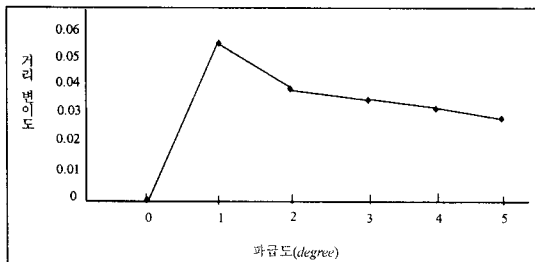
의 각도 변이도는 각도의 변화가 너무 미세해 0으로 측정되었다. 이에 대한 실험 결과는 표 6.1과 표 6.2와 같다.

표 6.1 한 도엽에만 에지 메칭을 적용했을 때의
과급도별 거리 보존도



따라서, 표에서 보는 바와 같이 과급도가 증가할수록 기하학적인 제약조건의 유지도는 더 높아진다는 것을 알 수 있다

표 6.2 두 도엽 모두에 에지 메칭을 적용했을 때의
과급도별 거리 보존도



7. 결론 및 향후 연구 과제

수치지도가 국가기본도로 사용되기 위해서는 무오류 데이터가 보장되어야 하나 여러 지도제작 용역업체에 의해 작성되기 때문에 용역업체의 전문성이 낮을 경우 오류 발생 가능성이 크고 그 유형도 다양하며, 초기에 발생한 오류 데이터는 여러 단계의 검수를 통해 검출, 보완되었지만 무오류를 보장하기는 어려운 실정이다.

본 논문에서는 이러한 여러 가지 수치지도상의 오

류 중 인접하는 도엽 간의 경계영역 내의 불일치를 보정할 때 공간 데이터의 위상관계의 보존과 더불어 기하학적 규약도 최대한으로 만족시키는 에지 메칭 방법과 에지 메칭의 성능을 평가할 수 있는 기준을 제시하였다.

불일치가 발생하는 객체 뿐만 아니라 그 객체 주변에 위치하는 다른 객체들도 보정을 하는 스위스를 고려한 러버 슈팅을 이용하는 에지 메칭 방법은 불일치가 발생하는 경계영역 내의 객체를 보정하면서 발생할 수 있는 위상관계의 오류를 최소한으로 줄일 수 있으며, 불일치가 일어나는 객체의 단락된 끝점만 보정해 주는 기존의 방법들이 원래 객체의 형태를 심각하게 변화시키기 때문에 중요한 기하학적 규약들이 파괴될 수 있는 단점을 보완하기 위해 제시한 과급에 의한 에지 메칭 방법은 사용자가 임의로 보정될 객체의 변화가 일어날 범위를 정하고, 보정되는 객체의 끝점 뿐만 아니라 그 객체를 구성하는 점들 중 주어진 범위에 속하는 모든 점들이 보정의 영향을 받음으로써 보다 유연성 있는 객체의 보정을 가능하게 하였다. 또, 에지 메칭의 성능을 평가하기 위해 위상 정보의 유지와 기하학적 규약의 만족도를 평가할 수 있는 기준을 제시하였다.

그러나, 러버 슈팅을 이용하여 에지 메칭을 할 때 델로니 삼각화를 먼저 한 후 대응되는 삼각형에 대해 와핑을 수행하는데, 이 때 대응되는 삼각형이 존재하지 않는 경우가 발생하는데 이에 대한 보완이 필요하며, 또 본 논문에서는 1:1 에지 메칭에 대해서만 고려하고 있지만 앞으로 M:N 에지 메칭에 대한 연구도 수반되어야 할 것이다. 그리고 에지 메칭에 대한 성능 평가에 대한 기준의 보완이 요구되며, 그 외에도 본 논문에서는 한쪽 면이 인접하는 수치지도 간의 에지 메칭에 대해서만 언급하고 있으나, 모든 방향에 대한 에지 메칭을 고려할 경우 보정 작업이 중첩되는 영역에 대한 처리 문제와 여러 도엽들에 대해 에지 메칭 작업시 보정 작업을 적용할 수치지도의 에지 메칭 순서에 따라 결과가 다르게 나타나는데 그와 관련된 문제와 해결 방안도 앞으로 연구되어야 할 과제들이다.

참 고 문 헌

1. R. Laurini, Spatial Multi-Database Topological Continuity and Indexing, INT. J. GIS, 1998, VOL. 12, No. 4, pp. 373-402, 1998.
2. R. Laurini and D. Thompson, Fundamentals of Spatial Information System, Academic Press, 1992.
3. S. Servigne and R. Laurini, Updating Geographic Database Using Multi-Source Information, Proceedings of the 3rd ACM International Workshop on Advances in GIS, pp. 109-119, 1995.
4. M. G. Cho, K. J. Li and H. G. Cho, A Rubber Sheetting Method With Polygon Morphing, The 7th International Symposium on Spatial Data Handling, Vol. 1, pp. 7A 31-42, 1996.
5. J. R. Shewchuk, Triangle:Engineering a 2D Quality Mesh Generator and DelaunayTriangulator, First Workshop on Applied Computational Geometry, ACM, 1996.
6. J. Gomes, et. Al, Warping and Morphing of Graphical Objects, SIGGRAPH95 Course Notes, 1995.
7. T. Anderson, Morphing Magic, Sam Publishing, 1993.
8. J. ORourke, Computational Geometry in C, Cambridge University Press, 1994.
9. P. Langlois, Une transformation élastique duplan basée sur un modèle dintraction spatiale, Applications à la géomatique. Technical Paper, MTG, University of Rouen
10. 박상미, et. Al, 지리 정보 시스템용 수치지도 자동 보정 기법, 한국정보과학회 가을 학술 발표 논문집 Vol. 24, No. 2, pp. 233-236, 1997.
11. 국립지리원, 수치지도 작성 작업 내규, 1995.
12. 국립지리원, 수치지도 활용상 문제점 종합 분석, 1998.