

수치지도 불일치 해결을 위한 자동 보정 알고리즘

조 미 경[†] · 조 환 규^{††}

요 약

지리 정보 시스템에서 수치지도 보정(rubber sheeting)이란 물리적으로 동일 지역을 나타내고 있지만 일치하지 않는 두 지도사이의 불일치한 부분이 일치되도록 보정해 주는 것을 말한다. 불일치 종류는 수치지도를 생성하는 방법과 과정 등에서 발생할 수 있으며 또한 시간의 흐름에 따라 변화는 지리 정보의 특성으로 인해 발생하기도 한다. 본 논문에서는 지리 정보 시스템의 성능을 저하시키는 중요한 원인인 불일치 문제를 해결하기 위한 새로운 수치지도 보정 알고리즘을 제시한다.

제시한 방법은 다각형 커널의 무게 중심을 이용하여 다각형을 삼각분할한 후 삼각형 메핑을 적용하는 것이다. 다각형 외부에 위치한 시설물에 대해서도 동일한 방법을 적용하기 위해 제한된 델로니(Delaunay) 삼각분할을 이용하여 외부 영역을 다각형의 집합으로 만들어 주는 방법을 제시한다. 또한 본 논문에서는 수치지도 보정 결과를 평가하기 위한 측정 함수를 제시하였다. 측정 함수는 지리 정보의 특성을 구분짓는 세 가지 중요한 요소인 방향적(directional), 위상적(topological), 측량적(metrical) 특성을 이용한다. 그리고 수치지도와 다양한 테스트 데이터를 이용하여 제시한 기법의 성능을 실험하고 그 결과를 측정 함수로 분석하여 제시한 기법이 불일치 해결에 좋은 결과를 보여 줌을 밝힌다.

Rubber Sheeting Algorithm for Resolving Digital Map Mismatches

Mi Gyung Cho[†] · Hwan Gue Cho^{††}

ABSTRACT

Rubber sheeting is the one of basic problems in Geographical Information System(GIS), which is a mapping procedure to resolve mismatches between two similar geographic maps representing the same region with a few mismatches. Mismatches are resulted due to the diversity of database sources, the methodology of map production and state of update of information. In this paper we propose a new rubber sheeting algorithm for resolving these mismatches, which degrade the quality and accuracy of GIS.

The basic idea of our algorithm is that we triangulate a polygon using the centroid of kernel area of a polygon. And we apply a triangle mapping to a pair of corresponding triangles in order to find the mapping coordinates. And for the objects outside polygons we propose one method to convert the outside areas into the set of polygons by constrained Delaunay triangulation. Also we propose new measure functions to evaluate the performance of rubber sheeting. Measure functions are based on three properties, namely topological, directional and metrical property, which represents the characteristics of the spatial information. Several experiments with real data show that our algorithm preserves topological, directional and metrical properties of a map during transformation as well as geometric accuracy.

※ 이 논문은 1996년도 한국학술진흥재단의 공모과제 연구비에 의하여 연구되었음.

† 정 회 원: 부산대학교 전자계산학과 박사과정

†† 정 회 원: 부산대학교 전자계산학과 부교수, 컴퓨터 및 정보통신연구소 연구원

논문접수: 1997년 7월 30일, 심사완료: 1997년 10월 27일

1. 서 론

지리 정보 시스템(Geographical Information System)은 지도를 전산 처리 가능하도록 컴퓨터에 입력하고 지상, 지하의 시설물, 도로, 부존 자원 등과 관련된 속성 정보들을 추가하여 토지 및 시설물 관리, 도로의 설계와 보수, 자원 활용등에 사용하는 정보 시스템이다. 이러한 지리 정보 시스템에서 중요한 것 중의 하나가 정확한 데이터 베이스의 유지이다. 정확한 데이터 베이스는 지리 정보 시스템의 성능을 결정한다. 그런데 수치지도는 원도(paper map) 자체의 부정확성과 수치지도를 만드는 과정에서 생길수 있는 오차등으로 불일치 문제가 발생할 수 있다. 이러한 불일치 문제를 보정해 주는 것을 총칭하여 수치지도 보정 기법(rubber sheeting)이라고 한다. 지리 정보 시스템의 활용이 폭 넓게 이루어지고 있는 외국에서도 수치지도 보정에 대한 연구는 아직 시작 단계이다[1, 2, 3]. 외국에서 이제까지 연구된 결과는 주로 연속된 지역의 지도를 접합할 때 생기는 어긋난 도로나 선분을 일치시키는 단순한 경우였다. 최근들어 시간에 따라 변화하는 지리 정보의 불일치 문제를 해결하기 위한 기법들이 연구되고 있다[1, 2, 3, 4]. 하지만 그 적용 범위가 매우 제한적이며 보정후 그 성능을 평가하지 않음으로 결과의 정확성을 확인할 방법이 없다.

우리나라의 경우 불일치 문제는 외국에 비해 매우 심각하다. 그 한 예로 동일한 지역에 대해 땅의 소유 관계를 나타내는 지적도와 항공 사진으로 실측한 지형도가 일치하지 않고 상당히 변형되어 있다. 이것은 지적도가 지금까지 각 행정 단위에서 종이위에 도면으로 구축되어 왔는데 여러가지 이유로 인해 오차가 많기 때문이다. 그런데 각종 설비도를 오차가 많은 지적도위에 겹쳐서 수작업으로 만들어 왔기 때문에 상하수도나 가스및 전주 등의 시설물에 대한 작업은 정확하지 않은 지적도를 기본으로 하고 있다. 이제 수치지도 국가 기본도는 지형도를 기본으로 하기 때문에 이것이 완성되면 모든 다른 종류의 도면도 지형도에 맞추어져야 한다. 따라서 항공 사진으로 나타나지 않는 시설물에 대한 정보들을 지형도 위로 매핑시키는 작업이 필요하다. 하지만 동일 지역의 지적도와 지형도가 일치하지 않기때문에 지적도 위에 있는 시설물들을 그대로 옮길 수 없다. 예를들면, 지적도에서

는 임의의 시설물이 도로 안에 위치했는데 지형도에서는 도로 경계선에서 멀리 떨어진 도로 밖으로 옮겨질 수도 있다. 지리 정보 시스템에서 시설물의 위치 정보는 매우 중요한 의미를 가지므로 이러한 문제가 발생되어서는 안된다. 따라서 지적도를 기반으로 작성된 시설물들은 적절한 보정 기법을 통해 지형도로 매핑되어야 한다. 현재 이러한 작업은 숙련된 기술자에 의해 하고 있는데 이에 따른 경비의 과다 지출과 기술자를 훈련시키는데 많은 시간이 필요하고 기술자의 숙련도가 다를 경우 표준화가 어렵다는 문제를 가지고 있다. 그러나 자동 시스템을 통하여 수치지도 보정 작업을 할 수 있다면 이러한 문제들을 해결할 수 있을 것이다.

본 논문에서는 점(point)으로 표현되는 시설물들-전주, 맨홀, 통신주둥-을 적절한 위치로 매핑시켜 주는 수치지도 보정 알고리즘을 제시하고 구현하였다. 또한 매핑된 점들이 어느 정도의 정확성을 가지고 옮겨졌는지를 평가할 수 있는 성능 평가 기준을 제시하여 본 논문에서 제시하는 방법을 평가하였다. 제시한 성능 평가 함수는 어느 정도의 정확성을 가지고 보정되었는지 측정해 주므로 제시한 방법의 타당성을 보여 준다. 지도는 건물이나 땅의 경계를 나타내는 다각형(polygon)과 도로나 강을 나타내는 폴리라인(polyline)으로 되어 있다. 폴리라인은 전처리 과정을 통해 다각형으로 만들 수 있으므로 지도는 몇 만개의 다각형으로 구성되어 있다고 가정할 수 있다.

본 연구에서는 지도가 다각형의 집합으로 구성되어 있다고 가정하고 다각형을 기본으로 하는 수치지도 보정 기법을 제시하였다. 다각형 내부에 존재하는 시설물들을 매핑시키기 위해 다각형의 커널을 찾아서 커널의 무게 중심을 중심으로 다각형을 삼각분할한 다음 삼각형끼리 매핑시키는 방법을 사용하였다. 또한 다각형 외부의 시설물들에 대해서는 내부와 동일한 방법을 적용하기 위해 외부 영역을 제한된 딜로니 삼각분할(constrained Delaunay triangulation)한 후 외부 영역을 역 다각형(inverse polygon)의 집합으로 만드는 방법을 제시하였다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2장에서는 수치지도 보정에 대해 자세한 설명과 함께 수치지도 보정의 성능을 평가할 수 있는 측정 함수를 제시한다. 3장에서는 본 논문에서 제시하는 다각형의 커널을 이용

하는 기법과 이를 적용하기 위한 전처리 과정에 대해 설명한다. 그리고 4장에서는 다각형의 외부 영역에 있는 시설물들을 수치지도 보정하기 위해 제한된 폴리곤 삼각분할을 이용하여 외부 영역들을 역 다각형의 집합으로 만드는 방법에 대해 설명한다. 마지막으로 5장에서는 제시한 수치지도 보정 알고리즘을 수치지도와 다양한 테스트 데이터로 실험하고 그 결과를 측정 함수로 성능 평가하여 결론을 맺고 앞으로의 연구 과제를 언급한다.

2. 수치지도 보정과 성능 측정 함수

2.1 수치지도 보정

두 개의 일치하지 않는 수치지도를 M_A, M_B 라고 하자. M_A 와 M_B 에 공통적으로 존재하는 것은 지적이나 건물을 나타내는 다각형이나 도로나 강 등을 나타내는 폴리라인(polyline)인데 폴리라인은 다각형으로 만들 수 있으므로 공통적으로 존재하는 물체는 다각형의 집합이다.

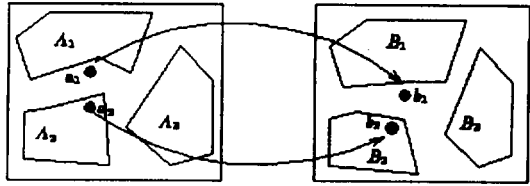
$$P = M_A \cap M_B \tag{1}$$

그리고 M_A 에는 있지만 M_B 에는 존재하지 않는 시설물들의 집합을 O 라고 하자. 본 연구에서는 점으로 표현되는 시설물만 고려하였다.

$$O = M_A - M_B \tag{2}$$

우리가 고려하는 수치지도 보정 문제는 O 에 대한 M_B 에서의 적절한 매핑점들의 집합 O' 를 구하는 문제로 생각할 수 있다. 즉, O 를 O' 로 매핑시켜 주는 함수 $f = O \rightarrow O'$ 를 구하는 문제이다. (그림 1)은 M_A 의 시설물 a_1, a_2 를 M_B 로 매핑시키는 수치지도 보정의 예이다. 만약 수치지도 보정을 거치지 않고 좌표값 그대로 옮기게 되면 두 지도가 변형되어 있기 때문에 a_1 이 B_1 안에 위치하게 되고 a_2 가 B_2 바깥으로 옮겨지게 되어 시설물들의 위치 정보가 바뀌게 된다. 수치지도 보정은 이러한 현상으로 인해 시설물들의 정보가 변형되지 않도록 시설물들을 옮기는 것이 목적이다. 그리고 지형 지물을 옮길때 가능하면 위상 정보나 측량 정보, 방향 정보등이 변화되지 않도록 고려해야 하므

로 수치지도 보정은 상당히 복잡한 문제이다.



(그림 1) 수치지도 보정
(Fig. 1) A rubber sheeting

2.2 성능 측정 함수

수치지도 보정 알고리즘의 성능을 평가하기 위해서는 매핑 함수 $f = O \rightarrow O'$ 의 결과가 얼마나 정확한지 평가할 수 있는 기준이 있어야 한다. 우리는 지리 정보 시스템에서 두 지도의 유사성을 측정하기 위해 사용한 요소들을 이용하여 수치지도 보정 결과를 평가할 수 있는 기준을 제시하였다. 먼저 공간 유사성을 평가하기 위해 사용된 기존의 방법을 살펴보고 본 논문에서 제시하는 측정함수를 설명한다.

2.2.1 공간 유사성 측정

사람들은 어떤 지역에 대한 대략적인 기억만을 가지고 있는 경우가 대부분이다. 따라서 지리 정보 시스템은 어떤 지역을 찾는 대략적인 질문(sketch-query)이 들어 왔을 때 정확히 일치하는 정보가 없을 경우 유사한 정보를 찾아 주는 기능이 필요하다. 그래서 일치하지 않지만 비슷한 지역들의 유사도를 평가하는 방법에 대한 연구가 이루어지고 있다[6]. 공간 유사성은 많은 제약 특성들로 인해 매우 복잡한데 공간 구조를 잘 설명해 줄 수 있는 객체들간의 위상적(topological), 방향적(directional), 측량적(metrical) 관계를 비교 분석함으로 측정된다.

가장 최근 연구에서는 공간 유사성을 평가하기 위해 각 객체들간의 위상적, 방향적, 측량적 정보를 다음과 같은 방법을 사용하여 측정하였다. 위상 정보를 측정하기 위해 모든 객체들사이의 관계가 *equal, inside, cover, overlap, meet, disjoint* 중 어느 것에 해당되는지 조사하였다. 방향적 정보는 객체들사이의 서로의 방향이 *N, NW, W, SW, S, SE, E, NE* 중 어느 것에 해당되는지 조사하고 측량적 정보는 거리를 *zero, very*

far, close, far의 네 가지로 분류하여 객체들간의 거리가 어디에 속하는지 조사하였다. 모든 객체들에 대해 세 종류의 정보를 각각 측정하여 측정 값이 서로 다른 객체의 수를 공간 유사도의 척도로 이용하였다.

위의 방법은 유사도의 척도를 단순히 측정 값이 서로 다른 값을 가지는 객체의 수로 지정하는데 문제가 있을 수 있다. 그리고 측량적 정보의 경우 close, far 등의 분류가 애매하다. 또한 우리의 문제는 크기가 동일한 점 집합을 보정하여 평가하는 문제이므로 서로 다양한 크기와 모양에 대해 적용한 위상 관계들을 그대로 적용하기 힘들다. 따라서 본 논문에서는 점으로 표현되는 시설물 보정 결과를 평가하는데 사용할 수 있는 위상적, 방향적, 측량적 정보를 측정하는 새로운 방법을 제시하였다.

2.2.2 새로운 성능 측정 함수의 개발

보정된 결과가 바람직하다는 것은 시설물 집합 O 이 M_A 에서 가지는 위상적, 방향적, 측량적 정보를 매핑된 결과로 생성된 집합 O' 이 그대로 유지하는 것을 말한다. 따라서 우리는 시설물들의 이러한 정보들이 수치지도 보정후 변경된 정도를 측정하여 보정 결과의 평가 함수로 사용하였다. 변경된 정보가 많을수록 좋지 못한 보정 결과이다.

M_A 에 나타난 시설물들의 집합을 $O = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ 라고 하고 수치지도 보정에 의해 M_B 에 매핑된 결과를 $O' = \{b_1, b_2, \dots, b_n\}$ 라고 하자. 그리고 M_A 에서의 다각형 집합을 $P = \{P_1, P_2, \dots, P_N\}$ 이라고 하고 M_B 에서의 집합을 $P' = \{P'_1, P'_2, \dots, P'_N\}$ 이라고 하자. 또한 M_A 의 각 다각형 P_i 에 대응되는 M_B 의 다각형을 P'_i 라고 하자.

(1) 위상적 정보

위상적 정보는 다음 두 가지 함수로 측정한다.

① 위상 정보를 측정하기 위해 시설물이 어느 다각형에 포함되어 있는지에 관한 정보를 조사하였다. 함수 $inside(a_j, P_i)$ 는 진리(boolean) 함수로써 그 값이 참이면 a_j 가 P_i 에 포함된 것을 의미한다. $inside(a_j, P_i)$ 가 참일때 $inside(b_j, P'_i)$ 가 참이면 시설물 a_j 에 대한 위상 정보가 변하지 않은 것을 의미한다. 모든 시설물에 대해 $inside(a_j, P_i)$ 와 $inside(b_j, P'_i)$ 의 값을 검사하여 서로 다른 값을 가지는 개수를 $N(I)$ 라고 할때 변

경된 위상 정보는 다음과 같이 계산한다.

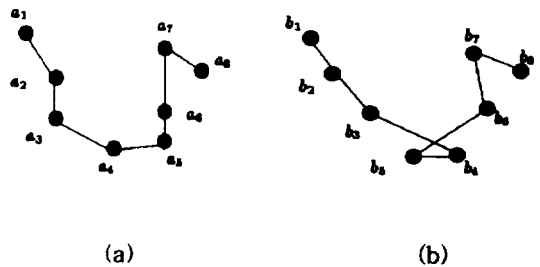
$$T_{f1} = \frac{N(I)}{n} \tag{3}$$

여기서 n 은 시설물의 개수이며, $0 \leq T_{f1} \leq 1$ 의 값을 가진다.

② 위상 정보를 측정하기 위한 두번째 함수는 시설물 집합 O 의 전체 위상 구조와 O' 의 전체 위상 구조를 비교한다. 전체 위상 구조는 (그림 2)와 같이 a_i 와 a_{i+1} 를 선분으로 연결한 것으로 정의한다. 시설물들은 그 종류에 따라 순서 정보가 있는 것이 있고 그렇지 않은 것도 있다. 전자의 해당되는 시설물들은 전주등과 같이 그 순서 정보가 매우 중요한 것들인데 이러한 시설물들을 선분으로 연결하면 꼬임이 없는 형태로 나타난다.

바람직한 보정은 O 의 위상 구조와 O' 의 위상 구조가 동일한 경우이다. 그런데 바람직하지 않은 매핑에 의해 O' 의 위상 구조에서 꼬임이 발생하여 위상 구조가 달라지는 경우도 발생한다. (그림 2) (b)는 이와 같은 현상을 보여준다. 꼬임의 개수를 $N(C)$ 이라고 하면 변화된 위상 정보는 다음과 같다. 함수 값의 범위는 $T_{f2} \geq 0$ 이다.

$$T_{f2} = \frac{N(C)}{n} \tag{4}$$



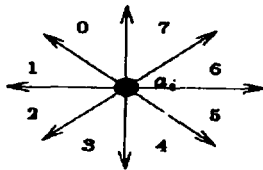
(그림 2) 전체 위상 구조
(Fig. 2) The entire topological structure

(2) 방향적 정보

O 의 방향 정보를 측정하기 위해 각 시설물 a_i 를 (그림 3)과 같이 여덟가지 방향을 지정한다. 따라서 하나의 시설물을 중심으로 다른 시설물들은 모두 0에서 7

중 하나의 방향을 가지게 된다. 0의 개수가 n 이면 방향 정보는 $n \times n$ 의 행렬에 저장된다. 이 중에서 n 는 자기 자신이므로 방향 정보에서 제외한다. 방향 정보의 변형은 전체 방향 정보의 개수에서 변형된 개수의 비율로 한다. 변형된 방향 개수가 $N(D)$ 일때 방향 정보의 변형은 다음과 같다. 함수 값은 $0 \leq D_f \leq 1$ 의 범위를 가진다.

$$D_f = \frac{N(D)}{n \cdot (n-1)} \tag{5}$$



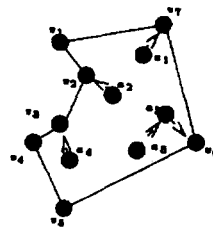
(그림 3) 방향적 정보
(Fig. 3) Directional information

(3) 측량적 정보

방향적, 위상적 정보는 시설물들 사이의 위치와 방향에 대한 변형은 검사하지만 시설물들 사이와 시설물을 포함하고 있는 다각형과의 거리가 어느 정도 유지되었는가에 대한 검사를 하지 못한다. 따라서 이러한 거리에 대한 변형을 검사하기 위해 우리는 이웃관계(neighbor relation)라는 새로운 요소를 제시하였다. 다각형의 정점들은 (그림 4) (a)와 같이 반시계 방향으로 순서가 주어져 있다고 가정한다. a_i 의 이웃 집합(neighbor set) N_{a_i} 는 다각형의 정점들과 a_i 를 제외한 모든 시설물의 집합이다. 즉 $N_{a_i} = \{v_1, v_2, \dots, v_7, a_2, a_3, \dots, a_5\}$ 이다. 시설물 a_i 의 1-neighbor는 N_{a_i} 요소중 a_i 와 가장 가까운 집합의 요소를 말한다. 그림에서 화살표 방향의 점선은 각 시설물의 1-neighbor를 가르킨다. 2-neighbor는 두번째 가까운 요소이다. (그림 4) (b)는 각 시설물들에 대해 4-neighbor까지 구한 결과이다. i -이웃 집합(neighbor set)이란 i -neighbor에 속하는 정점들로 구성된 집합이다. 예를들면, 시설물 a_2 에 대한 4-이웃 집합은 $\{v_2, a_1, a_3, a_5\}$ 이다. a_i 와 매점 b_j 의 j -이웃 집합을 비교하여 만약 집합의 요소들중 두 개가 서로 다르면 a_i 에 대한 j -이웃 집합의 변경된 측량

정보 $N_f(N(a_i))=2$ 라고 한다. 그리고 모든 시설물에 대한 j -이웃 집합 $N_j(N) = \sum_{i=0}^n N_f(N(a_i))$ 이다. 따라서 만약 j -이웃 집합을 측량 정보로 사용할 경우 변경된 측량 정보량은 다음과 같다. $0 \leq M_f \leq 1$ 의 값을 가진다.

$$M_f = \frac{N_j(N)}{j \cdot n} \tag{6}$$



(a)

	1-neig.	2-neig.	3-neig.	4-neig.
a_1	v_7	a_2	v_2	a_3
a_2	v_2	a_1	v_3	a_5
a_3	v_6	a_5	a_2	a_1
a_4	v_3	v_4	v_5	a_5
a_5	a_3	v_6	a_2	v_5

(b)

(그림 4) 측량적 정보 : 화살표는 1-neighbor를 가르킨
(Fig. 4) Metrical information : Arrows indicate 1-neighbor.

3. 다각형의 커널을 이용한 수치지도 보정

이 장에서는 본 논문에서 제시하는 다각형을 기반으로 하는 수치지도 보정 기법과 이를 적용하기 위한 전처리 과정에 대해 설명한다.

3.1 전처리 작업

다각형의 커널을 이용한 보정 기법을 적용하기 전에 세가지 전처리 과정을 거쳐야 한다. 첫째, 폴리라인(polyline)으로 구성된 도로나 강등의 물체를 다각형으로 변형한다. 도로나 강 등의 객체는 한 쌍의 폴리라인으로 구성되어 있으므로 폴리라인의 한 끝점은 또 다른 폴리라인의 끝점과 연결시키고 시작점은 시작점끼리 연결시킨다. 이러한 과정을 거치면 폴리라인으로 구성된 객체들도 다각형이 되므로 동일한 기법을 적용시킬 수 있다.

둘째, M_A 와 M_B 에 공통적으로 존재하는 다각형의 집합 P 들 사이에 대응(correspondence) 관계를 구하는 것이다. P_i 의 대응 P_j 를 찾기 위해 다각형을 구성하고 있는 정점들의 집합에 대해 허즈도프(Hausdorff)

거리 함수를 사용하였다. 허즈도프 거리 함수는 두 물체의 유사도를 측정하는데 많이 사용되는 함수로 P_i, P'_i 에 대한 허즈도프 함수 $h(P_i, P_j)$ 는 다음과 같이 정의된다[7].

$$h(P_i, P_j) = \max\{d(P_i, P_j), d(P_j, P_i)\} \quad (7)$$

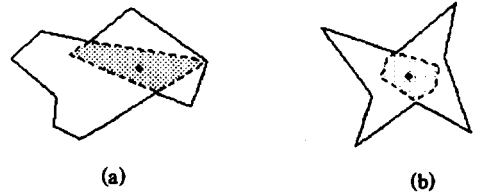
여기서 $d(P_i, P_j) = \max\{d(x, P_j) : x \in P_i\}$ 이며 $d(x, P_j) = \min\{d(x, y) : y \in P_j\}$ 이다. 함수 $h(P_i, P_j)$ 의 값은 P_i, P_j 를 구성하는 모든 정점들 사이의 유클리드 거리값을 계산하여 P_i 의 각 정점들에 대한 P_j 와의 거리값들중에서 가장 적은 값을 가지는 값들의 최대값을 의미한다. 따라서 두 지도를 겹쳤을때 임의의 한 다각형에 대해 가장 잘 대응되는 다각형은 가장 적은 허즈도프 거리 함수 값을 가지는 다각형이 된다.

세째, P_i 와 대응 다각형 P'_i 의 정점의 개수가 다른 경우 동일한 개수를 가지도록 조정해 준다. P_i 와 P'_i 의 정점의 수를 비교하여 정점의 수가 적은 다각형을 기준으로 조정한다. 정점들은 반시계 방향으로 순서화되어 있으므로 시작 정점부터 출발하여 각 에지의 길이를 계산한다. 전체 다각형의 둘레에서 에지의 길이 비율을 계산하여 에지 비율의 차가 많은 에지부터 비슷한 비율을 가지도록하는 위치에 정점을 추가해 준다. 즉, 정점의 수가 한 개 차이난다면 에지 비율의 차가 가장 큰 에지에 새로운 정점을 하나 추가해 주고 정점의 수가 두 개 차이나는 경우 에지 비율의 차가 가장 큰 에지와 두 번째 큰 에지에 새로운 정점을 추가해 준다.

3.2 다각형의 커널을 이용한 다각형 내부 매핑

두 점 p, q 가 다각형 내의 점이라고 할때, 선분 \overline{pq} 가 다각형 내에 존재하면 p 와 q 는 서로 볼 수 있다(visible)고 말한다. 그리고 다각형내의 모든 점들과 경계(boundary)를 볼 수 있는 다각형 내의 영역을 그 다각형의 커널(kernel)이라고 한다. (그림 5)에서 빗금친 영역은 주어진 다각형의 커널을 보여 준다. 커널이 존재하는 다각형을 별형(star-shaped) 다각형이라 하고 별형 다각형에서 커널을 구하는 최적의 알고리즘으로는 시간 복잡도 $O(n \log n)$ 인 알고리즘이 이미 개발되어 있다[8, 9].

먼저 M_A, M_B 내의 모든 다각형 P_i 와 P'_i 의 커널을



(그림 5) 다각형의 커널(색칠된 부분)과 커널의 무게중심(·)
(Fig. 5) The kernel of a polygon and the centroid of the kernel area

찾는다. 수치지도에 있는 다각형들은 건물이나 지적 등을 나타내는 것이므로 사각형이거나 아니면 볼록 다각형이거나 커널을 가지는 별형 다각형이 대부분이다. 커널을 가지지 않은 복잡한 다각형은 찾아보기 어렵다. 우리가 제시하는 알고리즘은 다각형의 커널을 이용하므로 커널을 가지지 않는 다각형들은 커널을 가지는 부 다각형들로 나누어 주는 작업을 거쳐야 한다. 부 다각형으로 나눌때 주의해야 되는 것은 다각형 P_i 와 대응되는 다각형 P'_i 를 양립(compatible)하게 나누어야 된다는 것이다. 양립하게 나눈다는 것은 나누어진 부 다각형들이 그들의 대응되는 부 다각형들의 정점들 사이에서 일대일 대응이 되는 것을 말한다. (그림 6)은 커널을 가지지 않는 두 다각형을 커널을 가지는 별형 다각형으로 양립하게 나눈 것을 보여주며 이에 필요한 시간 복잡도는 $O(n^4)$ 이다[10, 11, 12]. 양립하게 나눈 부 다각형들에 대해서도 각각 커널을 찾아준다. 다각형의 커널을 이용한 수치지도 보정 알고리즘은 다음과 같다.

[Algorithm] 커널을 이용한 수치지도 보정 기법

Input (1) M_A, M_B : 수치지도

(2) $O = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$: M_A 의 시설물 집합

Output $O' = \{b_1, b_2, \dots, b_n\}$: 보정된 시설물 집합

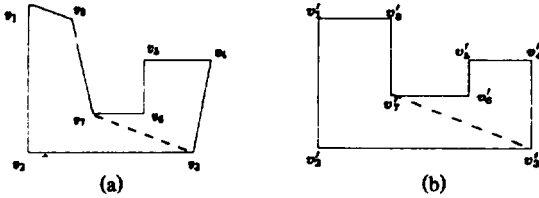
[단계 1] M_A, M_B 에 있는 모든 다각형들 P_i, P'_i 의 커널을 구한다. 비별형 다각형은 별형 다각형으로 양립되게 나누어준 다음 커널을 구한다.

[단계 2] 각 커널의 무게 중심을 구한다. 커널은 볼록 다각형이므로 무게 중심은 커널내에 존재하게 된다.

[단계 3] 무게 중심에서 다각형의 모든 정점을 연결하

므로 다각형을 부채꼴 모양의 삼각형 집합으로 만든다. $T_{ij}(1 \leq i \leq N, 1 \leq j \leq \text{정점의수})$ 는 다각형 P_i 의 j 번째 삼각형이다.

- [단계 4] 각 시설물 a_i 가 포함되어 있는 T_{ij} 를 찾는다.
- [단계 5] T_{ij} 와 T'_{ij} 에 대해 삼각형 매핑을 적용하므로 a_i 에 대한 매핑점 b_i 의 좌표값을 구한다.



(그림 6) 별형 다각형으로의 양립 분리

(Fig. 6) Compatible decomposition into pieces of star-shaped polygons

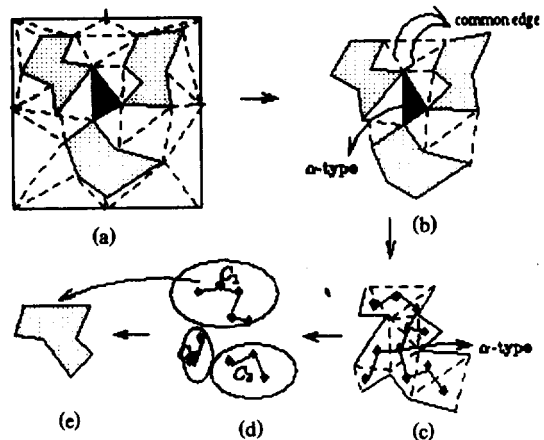
삼각형 매핑은 대응되는 두 삼각형내의 모든 점들을 매핑시키기 위한 방법이다[13, 14]. 위의 방법에 의해 다각형내에 포함되어 있는 시설물들은 모두 M_B 의 대응 다각형으로 매핑된다. 그러나 다각형 외부 영역에 있는 시설물들은 위의 방법으로 매핑할 수 없다. 우리는 외부 영역에 대해서도 다각형의 커널을 이용한 매핑 방법을 적용하기 위해 외부 영역을 다각형의 집합으로 만들어 주었다.

3.3 델로니(Delaunay) 삼각분할을 이용한 다각형 생성

외부 영역을 다각형의 집합으로 만들기 위해 우리는 수치지도를 제한된 델로니 삼각분할(constrained Delaunay triangulation)에 의해 삼각분할하였다. 제한된 델로니 삼각분할이란 포함될 선분 집합 일부가 미리 명시되고 가능한 델로니 조건을 만족하는 삼각분할이다[9, 15]. 제한된 델로니 삼각분할을 구하는 최적의 알고리즘은 분할 정복 기법을 이용한 것으로 $O(n \log n)$ 의 시간 복잡도를 가진다[15]. 수치지도를 제한된 델로니 삼각분할한다는 것은 지도에 있는 다각형들의 모든 에지가 포함되도록 델로니 삼각분할을 하는 방법이다. 델로니 조건이란 삼각형의 세 정점 모두에서 볼 수 있는 점을 외접원 내부에 포함하지 않도록 하는 것이다. (그림 7)의 (a)는 수치지도를 포함하는 경계

사각형과 몇 개의 다각형에 대한 제한된 델로니 삼각분할의 결과를 보여 준다. (b)는 경계 사각형의 정점을 포함하고 있는 외곽 삼각형을 제거한 결과이다.

제한된 델로니 삼각분할의 결과로 생기는 삼각형들은 그 특성에 따라 두 가지 종류로 구분할 수 있다. 생성된 삼각형의 세 정점이 (그림 7) (b)의 빗금친 삼각형과 같이 모두 서로 다른 다각형의 정점일때 그 삼각형을 α -type, α -type이 아닌 모든 삼각형들을 β -type 이라고 정의한다. 삼각분할후 생성된 삼각형을 하나의 정점으로 만듦과 동시에 이웃한 삼각형끼리는 예지로 연결하면 삼각분할의 쌍대 그래프(dual graph)를 생성할 수 있다. (그림 7)의 (c)는 (b)에 대한 쌍대 그래프이다. 쌍대 그래프에서 α -type 삼각형은 디그리(degree)가 3인 정점이 되고 β -type 삼각형은 디그리가 2인 정점이 된다. 쌍대 그래프에서 디그리가 3인 정점을 제거하게 되면 쌍대 그래프는 몇개의 그래프 요소들(graph components)로 나뉘어진다. (그림 7) (d)의 경우 α -type 정점을 제거하면 세개의 그래프 요소 C_1, C_2, C_3 로 나뉘어진다. 각 그래프 요소들은 삼각분할에서 β -type의 삼각형들로 구성된다. 각 요소들의 β -type 삼각형들에 대해 공통적으로 포함되는 에지(common edge)를 제거하면 하나의 요소는 하나의 다각형이 된다. (그림 7)의 (e)는 요소 C_1 에서 공통된 에지를 제거하여 하나의 다각형이 생성된 것을 보여준다. 이렇게 생성된 다각형들을 역 다각형(inverse polygon)이라고 부르기로 하자.



(그림 7) 역 다각형을 생성하는 과정

(Fig. 7) Process for producing inverse polygons

우리는 M_A 와 M_B 에 있는 다각형의 개수가 동일하다고 가정하였다. 그리고 다각형 P_i 와 대응 다각형 P'_i 를 구성하고 있는 정점의 수가 다른 경우 전처리 과정을 통해 같은 개수를 가지도록 하였기 때문에 정점의 수도 동일하다. 그러므로 제한된 들로니 삼각분할하기 위해 입력되는 에지의 개수가 동일하게 되므로 생성된 α -type, β -type 삼각형의 개수가 동일하게 된다. 따라서 역 다각형의 개수도 동일하게 된다. 역 다각형이 생성되면 외부 영역에 있는 시설물들에 대해서도 다각형의 커널을 이용한 보정 기법을 적용할 수 있다. 외부 영역은 α -type 삼각형들과 생성된 역 다각형의 집합이 되는데 α -type 삼각형들을 역 다각형들로 취급하면 외부 영역은 역 다각형의 집합이 되기 때문이다. 먼저 M_A 의 역 다각형에 대해 M_B 의 역 다각형들과 대응 관계를 구한 후 역 다각형들에 대해 수치지도 보정 알고리즘을 적용한다. 또한 외부 영역에 위치한 시설물들의 보정 결과 측정도 시설물을 포함하고 있는 역 다각형들을 이용한다.

4. 실험 및 결론

제시한 수치지도 보정 기법은 대응되는 다각형 쌍단위로 매핑하므로 대응 다각형의 유사도에 따라 결과가 달라진다. 따라서 우리는 두 가지 종류의 실험을 하였다. 첫째는 유사도가 서로 다른 다각형 집합을 만들어 유사도의 변화에 따른 성능의 차이를 비교해 보았다. 그리고 수치지도에 대한 결과를 평가하기 위해 수치지도 데이터에 제안한 보정 기법을 적용해 보았다.

다각형들 사이의 유사도를 평가하기 위한 방법은 패턴 인식이나 컴퓨터 비전 분야에서 많이 연구되어져 복잡한 유사도 함수들이 있다[16]. 그러나 우리는 대략적인 유사도를 측정하기 위해 다음과 같은 유사도 함수를 정의하였다.

$$s(P_i, P'_i) = \frac{area(P_i \cap P'_i)}{\max\{area(P_i), area(P'_i)\}} \quad (8)$$

위의 식에서 $area(P_i)$ 는 다각형 P_i 의 면적을 의미한다. P_i, P'_i 의 교집합의 면적은 P_i 와 P'_i 의 무게중심을 구하여 무게중심을 맞춘 후 구하였다. 우리가 제시한 유사도 함수는 같은 모양을 가지고 있더라도 확대/축소

될 경우 유사도가 달라진다. 이는 지리 정보에서 객체의 크기가 가지는 고유성을 반영하기 위한 것이다.

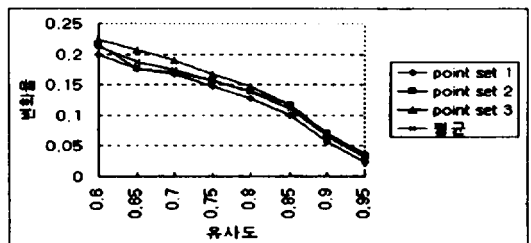
실험을 위해 위에서 제시한 유사도 함수를 이용하여 유사도 0.95, 0.90, 0.85, 0.80, 0.75, 0.70, 0.65, 0.60인 여덟 가지 종류의 데이터 집합을 열 개 만들었다. 그리고 시설물의 집합을 의미하는 100개 정도의 점(point)들을 다각형 내부에 입력하였다. 점 집합은 세 가지 형태를 사용하였다. 첫 번째, pointset 1은 다각형내에 골고루 점이 분포되도록 하고 두 번째, pointset 2는 다각형의 외곽에 세 번째, pointset 3는 다각형의 중심부에 집중적으로 분포하도록 하였다. 이는 다각형내의 모든 위치를 고려하기 위해서이다. 실험은 세 가지 형태의 점 집합들을 여덟 가지 유사도를 가지는 데이터 집합에 적용하였다. 데이터 집합이 열 개이므로 동일한 실험을 열 번 반복하여 평균을 구하였다. 다음은 성능 측정 함수 T_{f1}, T_{f2}, D_f, M_f 에 대한 분석 결과이다.

4.1 위상 정보의 변화량(T_{f1}, T_{f2})

위상 정보의 경우 두 측정 함수의 값이 $T_{f1}=0, T_{f2}=0$ 였다. 이는 모든 시설물에 대해 다각형과의 포함 관계에 있어 변화가 없을뿐아니라 전체 위상 구조에서도 모임이 발생하지 않았음을 의미하므로 제시한 방법의 타당성을 보여준다.

4.2 방향 정보의 변화량 (D_f)

방향 정보는 유사도에 따라 조금씩 다른 비율로 변화가 있었다. (그림 8)은 유사도에 따른 방향 정보의 변화율을 나타낸 그래프이다. 세가지 점 집합을 열 개의 데이터 집합에 각각 적용하여 그 평균을 구한



(그림 8) 유사도에 따른 방향 정보의 변화율
(Fig. 8) The changing ratio of directional information according to similarity

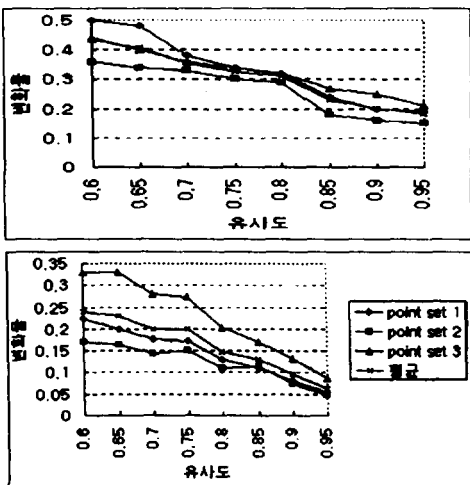
것이다. 유사도가 떨어질수록 변화율은 약 0.04 정도의 크기로 증가하고 있음을 볼 수 있다. 그리고 점 집합의 종류에 영향을 거의 받지 않는다는 것을 보여 준다. 이것은 시설물이 다각형의 어떤 위치에 있던지 방향 정보의 변화율은 비슷한 것을 말해 준다. 유사도가 0.6인 경우 D_f 는 평균적으로 0.22의 값을 가지지만 유사도가 0.85인 경우 0.12의 변화율을 보이고 있다. 이는 80개의 점에 대해 9개의 점만 방향적 정보가 변형된 것이므로 좋은 결과이다.

4.3 측량 정보의 변화량(M_f)

측량 정보의 변화량은 (그림 9)에서 보는 것처럼 점 집합의 종류에 따라 결과에 차이를 보인다. 이는 시설물의 위치가 어디에 있느냐에 따라 측량 정보의 변화량이 달라진다는 것을 의미한다. 다각형 중앙에 점 집합이 집중되어 있는 point set 3의 경우 외곽에 집중되어 있는 point set 2에 비해 이웃 집합의 변형이 많다. 또한 5-neighbor가 2-neighbor에 비해 현저하게 변형율이 낮은 것을 볼 수 있다. 그리고 8-neighbor의 경우 5-neighbor 보다 더 낮은 0.10의 값을 나타내었다. 다각형의 변형 정도가 심할수록 내부에 있는 점들의 위치도 그만큼 변형되므로 이웃 집합의 변형은 당연한

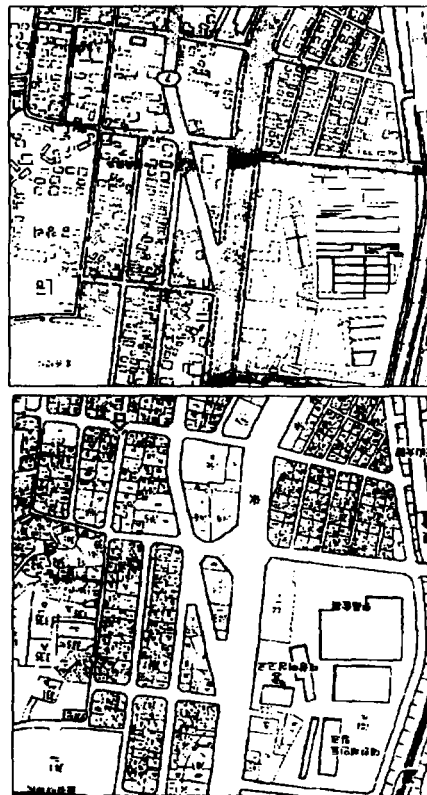
것이다. 하지만 유사도가 0.80이상인 경우 2-neighbor가 $M_f=0.3$ 이하이고 3, 4, 5, ... -neighbor로 갈수록 현저히 낮은 값을 가지므로 유사도가 0.8이상인 경우 측량 정보도 좋은 결과를 보여준다.

수치지도에 대한 결과를 실험하기 위해 우리는 부산시 금정구의 일부 지역에 대한 실험 데이터를 이용하여 제시한 기법을 적용해 보았다. 우리나라는 아직 수치지도를 만드는 과정에서 있기 때문에 완성된 수치지도 쌍을 구하기 힘들었다. 따라서 우리는 원도를 스캐닝하여 주요 다각형을 디지털화 한 결과를 실험 데이터로 사용하였다. (그림10) (위)는 금정구 지역중 일부를 나타내는 지적도이고 (아래)는 같은 지역을 나타내는 지형도이다. 두 지도는 그림에서 보는 바와 같이 다각형의 모양이 조금씩 변형되어 있다.



(그림 9) 유사도에 따른 측량 정보의 변화율((위) 2-neighbor (아래) 5-neighbor)

(Fig. 9) The changing ratio of metrical information according to similarity



(그림 10) 부산시 금정구 일대 지역((위) 지적도 (아래) 지형도)

(Fig. 10) Regions of kuem-jeong ku, pusan((Up) A cadastral map (Down) A topological map)

실험 결과를 보여 주는 (그림 11) (a)는 (그림 10) (a)의 지도위에 시설물 데이터가 표시된 것이고 (b)는 (그림 10) (아래)와 보정된 시설물 데이터를 포함하고 있다. 보정된 결과는 직관적으로 볼때 위상적, 방향적, 측량적 정보가 유지되어 바람직하게 보인다.

<표 1>은 여러 시설물 집합에 대한 보정 결과를 보여 준다. 표에서 보는 바와 같이 위상 정보에 대한 측정 함수 M_{f1} , M_{f2} 는 0의 값을 가지므로 위상적 정보를 그대로 유지해 주었다.

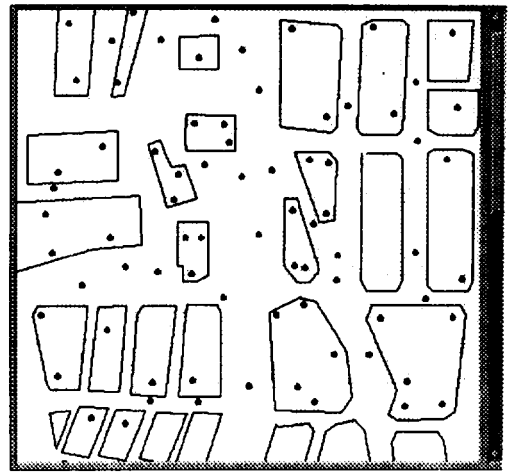
<표 1> 수치지도에 대한 성능 평가 함수들의 측정값
(Table 1) Values of performance measure functions for given digital maps

	시설물 I	시설물 II	시설물 III
T_{f1}	0/76=0	0/69=0	0/121=0
T_{f2}	0/76=0	0/69=0	0/121=0
D_f	468/79·78 = 0.076	338/69·68 = 0.072	1205/121·120 = 0.083
$M_f(2-neig.)$	1/79·2=0.006	1/69·2=0.007	1/121·2=0.004
$M_f(5-neig.)$	2/79·5=0.005	2/69·5=0.005	0/121·5=0.000

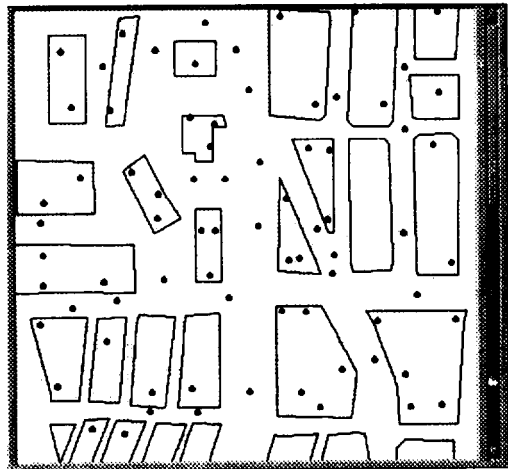
방향적 정보는 0.07에서 0.08사이의 값으로 유사도가 0.9-0.85인 다각형 쌍을 가지고 실험한 결과와 비슷하였다. 하지만 측량적 정보의 경우 다각형의 쌍에 대한 결과와 비교해 볼 때 현저하게 좋은 결과를 보여주었다. 이것은 시설물의 집합이 다각형 쌍을 가지고 실험을 한 경우 매우 조밀하게 분포시킨 반면 수치지도에서는 덜 조밀하게 분포되어 있기 때문이다. 실험 결과가 보여 주듯이 제시한 수치지도 보정기법은 시설물들의 위상적, 방향적, 측량적 정보들에 대해 비교적 변동없이 보정해 주었다.

결론적으로 우리는 동일한 지역을 나타내는 유사한 두 수치지도의 불일치를 해결하기 위한 수치지도 보정 기법을 제시하였다. 그리고 보정한 결과의 정확성을 평가하기 위해 성능 측정 함수를 제시하였다. 제시한 보정 기법은 성능 측정 함수들에 의해 시설물들 사이의 위상적, 방향적, 측량적 정보들이 일정 범위 내에서 유지됨을 보여 줌으로 점으로 표현되는 시설물들의 불일치를 해결하는데 좋은 방법임을 입증해 주었다. 본 논문에서는 점으로 표현되는 시설물에

대한 보정 알고리즘을 적용시켜 보았다. 하지만 지리 정보의 시설물들은 상하수도나 가스관등 폴리라인으로 표현되는 것들도 많기 때문에 앞으로 폴리라인으로 표현되는 시설물들을 보정해 주는데 제시한 알고리즘을 변형하여 적용할 필요가 있다.



(a)



(b)

(그림 11) 보정 결과 예 (a) 지적도와 보정전의 시설물 집합 (b) 지형도와 보정후의 시설물 집합

(Fig. 11) An example a snapshot of program result (a) Before applying rubber sheeting (b)After applying rubber sheeting

참 고 문 헌

[1] S. Servigne and R. Laurini, "Updating Geographic Databases Using Multi-Source Information," ACM-GIS'95 Proceedings of the 3rd ACM International Workshop on Advances in GIS, pp. 119-126, 1995.

[2] P. Langlois, "Une transformation élastique plan basé sur un modèle d'interaction spatiale: Application la géomatique," Technical paper, MTG, University of Rouen, 1995.

[3] P. Dufour, "Les bases de données géographiques fédérées: continuités géométrique et topologiques," Mémoire de DEA, INSA de Lyon, June, 1995.

[4] Mi-Gyung Cho, Ki-Joune Li and Hwan Gue Cho, "A Rubber Sheeting Method With Polygon Morphing," The 7th International Symposium on Spatial Data Handling(SDH'96) Volume 1, pp. 7A 31-42, 1996.

[5] R. Laurini and D. Thompson, *Fundamentals of Spatial Information System*, Academic Press, 1992.

[6] H. Tom Bruns and M. J. Egenhofer, "Similarity of Spatial Scenes," The 7th International Symposium on Spatial Data Handling(SDH'96) Volume 1, pp. 4A 31-42, 1996.

[7] D. Huttenlocher, et. al, "Comparing Images Using the Hausdorff Distance," IEEE trans. Pattern and Matching Intelligence, Vol. 15, No. 9, pp. 850-863, 1993.

[8] D. T. Lee and F. P. Preparata, "An Optimal Algorithm for Finding the Kernel of a Polygon," J. of ACM, Vol. 26, No. 3, pp. 415-421, 1979.

[9] F. Preparata, et. al, *Computational Geometry: An Introduction*, Springer-Verlag, 1985.

[10] M. Etzion and A. Rappoport, "On Compatible Star Decompositions of Simple Polygons," IEEE trans. on Visualization and Computer Graphics, Vol. 3, No. 1, pp. 87-95, 1997.

[11] M. Etzion and A. Rappoport, "On Compatible Star Decompositions," Technical report, Inst. of Computer Science, The Hebrew Univ. of Jerusalem, 1994.

[12] J. Keil, "Decomposing a Polygon into Simpler Components," SIAM J. Comput. Vol. 14, No. 4, pp. 799-816, 1979.

[13] J. Gomes, et. al, "Warping and Morphing of Graphical Objects," SIGGRAPH'95 Course Notes, 1995.

[14] G. Wolberg, *Digital Image Warping*, IEEE Computer Society Press, 1994.

[15] L. P. Chew, "Constrained Delaunay triangulation," Symp. Computational Geometry, Vol. 3, pp. 215-222, 1987.

[16] E. Arkin, et. al, "An Efficiently Computable Metric for Comparing Polygon Shapes," ACM SIGGRAPH, Vol. 26, No. 2, pp. 35-42, 1994.



조 미 경

1990년 부산대학교 전산통계학과(학사)
 1992년 부산대학교 계산통계학과(석사)
 1992년~1995년 부산대학교 전자계산학과 조교
 1994년~현재 부산대학교 전자계산학과 박사과정

관심분야: 계산기하학, 컴퓨터 그래픽스, 지리정보시스템



조 환 규

1984년 서울대학교 계산통계학과(학사)
 1986년 한국과학기술원 전산학과(석사)
 1990년 한국과학기술원 전산학과(공학박사)
 1994년~1995년 독일 막스-플랑크 연구소 객원 연구원

1991년~현재 부산대학교 전자계산학과재직(부교수) 정보과학회 컴퓨터이론 연구회 운영위원
 관심분야: 알고리즘 설계 및 분석, 계산기하학, CAD 및 응용 그래프 이론