

지리 정보 시스템용 수치 지도 자동 보정 기법 *

박상미*, 정규상, 손은정, 이기준, 조성구†
부산대학교 전자계산학과
‡전력연구원 시스템 통신연구소

A Rubber Sheeting Method for Mismatches on Digital Maps

Sang-Mi Park*, Gyu-Sang Jeong, Eun-Jeong Son, Ki-Joune Li and Seong-Gu Cho†

Department of Computer Science, Pusan National University

‡Korea Electric Power Research Institute System and Communications Research Lab.

e-mail : {smpark, gsjeong, lik}@chronos.cs.pusan.ac.kr, ‡csk9306@kepri.re.kr

요약

지리 정보 시스템에서 공간 데이터베이스를 구성하는데 어려움 중의 하나가 일관성의 문제이다. 수치 지도화 하는 과정에 있어서 제작 환경, 제작 방법, 제작 주체가 서로 다르기 때문에 불일치가 발생한다. 본 논문에서는 상대 오차가 필연적으로 발생하는 서로 다른 두 종류의 지도간의 시설물 위치를 자동으로 보정해 주기 위한 수치 지도 자동 보정 기법을 제시한다. 수치 지도 자동 보정은 수치 지도 데이터의 기하학적인 특성 뿐만 아니라 위상적 관계 유지를 포함한다. 또한 지적도를 이용한 전주 설비도와 국가 기본도의 전주간의 불일치를 해결하기 위하여 본 논문에서 제시한 방법을 적용하여 보았다.

1. 개요

지리 정보 시스템은 공간상에 위치하는 지리 정보와 이에 관련된 속성 자료를 통합 처리함으로써 다양한 형태의 정보를 효율적으로 수집, 저장, 갱신, 분석, 출력하는 정보 시스템으로 최근 지도 제작, 자원 관리, 환경 관리, 도시 계획, 토지 계획, 시설물 관리, 교통 관계 등 다양하게 활용되고 있다.

다른 전산 시스템과는 달리 현장 활용에 앞서 대상 지역의 공간 정보가 데이터베이스화 되어 있어야 하는데, 이것은 많은 비용과 시간을 필요로 하며 초기 구축 자료의 수록 내용 범위와 자료의 정확도는 시스템의 전체적인 성능을 평가하는 주요 기준이 된다. 데이터베이스 구축의 가장 큰 문제점은 일관성을 유지해야 한다는 것인데, 이것은 같은 지역에 대해서도 다양한 지리 정보로 제공된 데이터베이스 사이에 불일치가 존재하기 때문이다[1,2,5]. 기존에 발표된 관련 논문들을 살펴보면, [1]은 도면의 경계 부분에 발생하는 불일치 문제를 해결하기 위해 변환 함수를 이용한 자동 보정(Rubber Sheeting) 방법을 제안하였고, [5]는 대응되는 두 도면의 불일치 문제를 다각형 정보를 이용하여 자동 보정 방법을 제안하였다. 이와 같은 불일치 문제를 해결하기 위하여 몇몇 연구가 이루어졌는데 그 방법은 입력되는 도면 정보에 따라 제한적으로 적용되었다.

본 논문에서는 수치 지도화 하는 과정에서 제작 환경이나 방법, 주체가 다르기 때문에 같은 지역에 대해서 발생하는 불일치를 보정해 주기 위한 수치 지도 자동 보정 기법을 제시한다. 실제로 수치 지도 자동 보정의 대상 도면은 국립 지리원에서 제작하고 있는 기본도와 한국 전력에서 제작된 설비도이다. 도면 사이의 위치 보정은 설비도에 있는 설비(전주) 위치를 기본도에 알맞게 옮기는 것이며, 기본도에 표시되어 있는 전주의 위치를 기준점으로 잡아 위치 보정을 수

행하도록 알고리즘을 개발한다. 이 때, 보정 대상이 되는 도면의 전주 자료에 오류가 있을 수 있으므로 알고리즘이 적용되기 위한 전제 사항으로 전주의 존재 여부는 설비도가, 전주 위치는 기본도가 정확한 것으로 간주하며, 양 도면간 서로 같은 것으로 대응되는 전주가 충분히 있어야 한다. 보정된 전주들의 정확도를 측정하는 기준이 필요한데, 이것은 기본도가 가지고 있는 지리 정보들과의 위상적인 관계를 이용한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 수치 지도에서 불일치가 발생하게 되는 원인과 그 유형에 대해서 살펴보고 3장에서는 수치 지도 자동 보정시 사용된 알고리즘을 설명한다. 4장에서는 구체적인 처리 과정을 보이고 결과를 분석한다. 그리고 마지막으로 5장에서는 결론 및 향후 연구 방향 등을 기술한다.

2. 수치 지도 불일치 문제

수치 지도 자동 보정 대상이 되는 도면인 기본도와 설비도는 투영 방법의 차이, 기준점의 차이, 오차 등의 문제로 많은 불일치를 가지고 있다. 두 가지 도면을 혼용하여 사용할 경우 불일치 문제는 심각하게 대두될 것이다. 뿐만 아니라, 기본도는 매우 많은 대상을 포함하고 있어 관리가 어렵고 데이터가 현행화되기 곤란하다. 특히, 주요 지형 지물에 대해서는 현행화가 잘 되어 있지만 자주 사용되지 않는 지형 지물이나, 항측 단계부터 누락의 소지가 많은 지물은 빠지는 경우가 많으며, 초기 구축 후에도 국립지리원과 시설물 관리 기관 간에 협조가 효율적으로 이루어지지 않을 경우 설비 변경에 따른 도면 갱신 작업 시 누락될 소지가 많다. 객체의 누락과 마찬가지로 이유로 경우에 따라 객체가 잘못 분류되는 경우가 있는데, 예를 들면 통신주가 전력주로 잘못 분류되어 있는 경우가 있다. 이러한 불일치 때문에 발생하는 기본도와 설비도 전주 사이의 관계를 살펴보면 다음의 세 가지 경우가 있다. 첫째, 대응점은 기본도와 설비도에 전주

* 본 연구는 전력 연구원의 위탁 과제로 수행하였음

가 모두 존재하는 경우로 설비도에 있는 전주가 기본도에도 기입되어 있는 경우이다. 기본도에 있는 전주의 위치가 정확한 것이므로 대응되는 설비도의 전주를 찾아 이것들을 기준점으로 하여 일치하지 않는 차이를 구하여 나머지 전주들을 보정한다. 둘째, 누락점은 설비도에는 존재하지만 기본도에는 존재하지 않을 경우로 기본도에 누락된 전주들이 해당된다. 기준점을 이용하여 설비도의 전주들을 기본도 위로 보정한다. 셋째, 오분류점은 설비도에 존재하지 않지만 기본도에는 존재하는 경우이다. 이것은 기본도의 전주들이 잘못 분류된 경우이므로 기본도 전주 정보를 무시한다. 이와 같은 점들은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$C = \{ p_c | p_c : \text{설비도의 전주} \}$$

$$T = \{ p_t | p_t : \text{기본도의 전주} \}$$

$$M = \{ p_m | p_m : \text{대응점}, p_m \in C, p_m \in T \}$$

$$N = C - M = \{ p_n | p_n : \text{누락점} \}$$

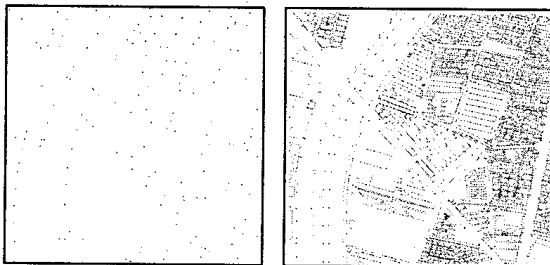
$$F = T - M = \{ p_f | p_f : \text{오분류점} \}$$

결국 본 논문에서 제안하는 방법은 누락점 $p_n \in N$ 에 대한 기본도 상의 정위치를 계산하여 보정하는 것이다. 즉, 누락점 $p_n = (x_n, y_n)$ 에 대한 기본도 상의 위치 $p'_n = (x'_n, y'_n)$ 를 찾기 위한 $RS(p_n) = p'_n$ 의 함수 RS를 구현하는 방법을 찾는 것이 본 논문의 목적이다.

실험 자료로는 부산 지역의 기본도와 설비도를 사용하였으며 기본도는 국립지리원에서 제작한 파일을, 설비도의 경우 동일 지역의 배전 설비도면을 청사진 복사하여 전주만을 골라 입력하였다. 실험 자료의 자세한 내용은 아래 (표 1)과 같고, 도면 영상은 (그림 1)과 같다.

지역	구분	원도축척	실거리범위	전주개수
부산	기본도	1/1,000	465m × 575m	156 개
	설비도	1/1,200	465m × 575m	163 개

표 1. 실험 자료 세부 내용



(a) 설비도 (b) 기본도

그림 1. 실험 자료 도면 영상

3. 수치 지도 자동 보정 방법

본 논문에서 제안하는 수치지도 보정방법은 다음과 같은 단계로 구성되어 있다.

단계 1. 전처리

기본도와 설비도에서 대응되는 전주를 기준점으로 설정하고 누락된 전주와 오분류된 전주를 분류한다.

단계 2. 위치 보정

기본도에서 누락된 설비도의 전주들은 존재 여부가 정확하므로 기본도 상의 정위치를 추정하여 보정한다.

단계 3. 후처리

보정된 전주 위치를 도면의 건물이나 도로와 같은 정보를 이용하여 위상관계를 검증한다.

단계별 처리 과정 중에 점 객체인 전주는 J. R. Shewchuk 가 제안한 Delaunay Triangulation 을 통하여 TIN(Triangulated Irregular Network)데이터로 재구성된다. 이 TIN 데이터는 인접한 점을 연결한 삼각형의 집합으로 구성되는데 이것은 다음 보정 알고리즘을 적용할 때 두 가지 측면에서 삼각형의 공간적인 관계를 이용한다. 첫째는, 기본도와 설비도의 전주 중 기준점을 설정하는 전처리 단계에서 인접 전주들 간의 연관성에 대한 정보를 제공한다. 둘째는, 누락된 전주에 대해 기본도 위의 해당 위치를 구하는 과정에서 대상이 되는 전주를 포함한 삼각형을 구하는데 이용된다. 이것은 가까이 있는 것일 수록 부분 위치 이동 거리나 켄트럴점 정도를 적용하기가 용이하기 때문이다.

3-1. Delaunay Triangulation 을 이용한 유사도

설비도와 기본도 사이에서 단순히 거리가 가까운 전주끼리 쌍을 만들면 주위 인접한 전주 간의 변경 거리를 반영하지 못한다. 즉 거리가 가깝다고 항상 대응되는 것이 아니기 때문에 설비도와 기본도에서 인접한 전주 간에는 대개 일정한 방향으로 이동된다는 점을 고려하여 두 도면의 TIN 데이터에서 대응되는 삼각형의 유사도를 비교한 후 대응되는 전주의 쌍을 기준점으로 설정한다. (그림 2)에서 보는 바와 같이 삼각형 (p_{c1}, p_{c2}, p_{c3}) 와 (p_{t1}, p_{t2}, p_{t3}) 이 대응될 때 두 삼각형이 완전히 합동이 아니면 $e_{11}e_{23} - e_{21}e_{13} \neq 0$ 이고 $a_{11} - a_{21} \neq 0$ 이다. 유사도 값은 이들의 차에 의해 결정된다[3].

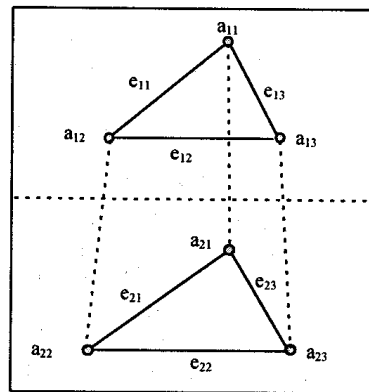


그림 2. 유사도 측정 방법

$$S(T_c, T_t)$$

$$= w_1 \left(1 - \frac{|a_{11} - a_{21}|}{2\pi} \right) + w_2 \left(1 - \frac{|e_{11}e_{23} - e_{21}e_{13}|}{e_{11}e_{23} + e_{21}e_{13}} \right)$$

여기서,

$$T_c = (p_{c1}, p_{c2}, p_{c3}), T_t = (p_{t1}, p_{t2}, p_{t3}),$$

$$w_1 = \frac{1}{2}, w_2 = \frac{1}{2}$$

T_c : 설비도상의 삼각형(Cadastral Triangulation)

T_t : 기본도상의 삼각형(Topographic Triangulation)

a : 삼각형의 꼭지점의 각(angle)

e : 삼각형의 변의 길이(edge)

S : 유사도

w : 가중치

이 조건에서 유사도함수 S 는 다음과 같은 특성을 갖는다.

특성 1. $0 \leq S(T_c, T) \leq 1$.

특성 2. $S(T_c, T) = 1$ 이면, 두 삼각형은 합동이다.

특성 3. $S(T_c, T)$ 이 1에 근접할수록, 두 삼각형은 합동에 가깝다.

특성 4. $S(T_c, T)$ 이 0에 근접할수록, 두 삼각형은 다른 모양을 가진다.

따라서, S의 값에 의해 대응되는 두 삼각형의 닮은 정도를 측정할 수 있다.

3-2. Delaunay Triangulation 을 이용한 삼각형 왜평

기본도에는 누락된 전주들이 있으므로 설비도에는 존재하지만 기본도에는 없는 전주들이 있다. 설비도의 전주는 존재 여부가 정확하므로 이러한 전주들을 기본도 위의 좌표로 보정해야 한다. 기준점이 되는 전주들을 대상으로 Delaunay Triangulation 하여 TIN 데이터를 구성한 다음, 보정하고자 하는 전주를 포함하고 있는 삼각형을 찾아 왜평한다. 왜평 알고리즘으로는 Triangle Mesh Warping 을 이용한다[4, 6]. 이 방법은 일차원상의 선형 변환을 이차원상으로 확장한 것이다. 삼각형 (p_{c1}, p_{c2}, p_{c3}) 와 (p_{t1}, p_{t2}, p_{t3}) 를 설비도와 기본도에서 대응하는 기준점으로 생성된 TIN 데이터의 삼각형이고 보정하려는 점 p_n 가 삼각형 (p_{c1}, p_{c2}, p_{c3}) 에 포함될 때, 대응되는 삼각형 (p_{t1}, p_{t2}, p_{t3}) 로의 보정된 점 p'_n 를 구하는 것이다(그림 3). 설비도의 점 $p_n(x_n, y_n)$ 로 부터 기본도의 점 $p'_n(x'_n, y'_n)$ 를 구하는 과정은 다음과 같다.

$$x_n = \lambda_1 x_{c1} + \lambda_2 x_{c2} + \lambda_3 x_{c3}$$

$$y_n = \lambda_1 y_{c1} + \lambda_2 y_{c2} + \lambda_3 y_{c3}$$

$$\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 = 1 \text{ 일 때, } \lambda_1, \lambda_2, \lambda_3 \text{ 을 구하여}$$

$$x'_n = \lambda_1 x_{t1} + \lambda_2 x_{t2} + \lambda_3 x_{t3}$$

$$y'_n = \lambda_1 y_{t1} + \lambda_2 y_{t2} + \lambda_3 y_{t3} \text{ 에서 점 } p'_n(x'_n, y'_n) \text{ 를 구한다.}$$

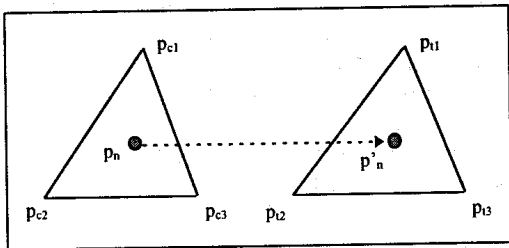


그림 3. 삼각형 왜평

4. 시스템 설계

자동 보정 알고리즘의 주요 부분을 실제 데이터로 단계적 처리한 과정을 설명하며, 자동 보정 처리 결과를 분석하여 개선 사항을 도출하고 정확도를 높이고자 한다.

4-1. 처리 과정

수치 지도 자동 보정 처리 과정은 크게 전처리, 위치 보정, 후처리 세 단계로 구성된다.

단계 1. 전처리 : 설비도와 기본도의 전주에 대해 가장 인접한 거리를 가진 전주의 쌍을 구한다. 쌍의 정보를 가진 기본도의 전주에 대해 Delaunay Triangulation 을 적용, TIN 구조를 생성하고 대응되는 설비도의 전주 정보로 쌍이 되는 삼각형을 찾아 각과 변에 대한 유사도를 측정하여 기준점이

되는 전주를 구한다. 이 때, 자동 보정시 설비도와 기본도 사이에 요구되는 보정 정도를 적응성 있게 하기 위해 두 도면 사이에 최대 이동 허용 거리인 오차 허용 거리와 찌그러짐 정도를 판별할 수 있는 유사도를 지정하여 만족되는 전주를 기준점으로 채택하게 된다. 전처리 과정을 수행한 결과, 전주를 세 가지로 분류하게 된다. 상대적으로 같은 위치의 쌍으로 판정된 전주인 대응점, 설비도에는 존재하나 기본도에는 없는 전주인 누락점, 기본도에는 존재하나 설비도에는 없는 전주인 오분류점이 있다. 이때, 대응점은 기준점이 되고, 누락점은 보정 대상이 되고, 오분류점은 이후 처리 단계에서 무시해 버린다. (그림 4)는 기준점이 되는 설비도와 기본도의 전주로 TIN 데이터를 형성한 후의 도면이다.

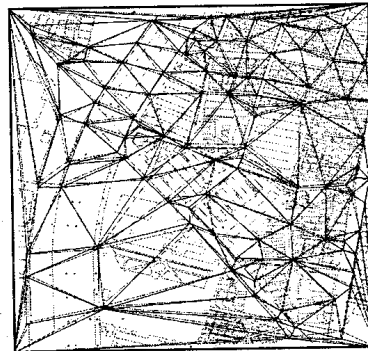


그림 4. 전처리

단계 2. 위치 보정: 전처리 단계의 수행 결과인 누락점으로 분류된 전주에 대해 왜평 알고리즘을 수행하여 기본도 상의 해당 위치 좌표값을 추정해 낸다. 왜평에서 사용되는 세 제어점은 기준점으로 설정된 대응점에 대해 Delaunay Triangulation 한 결과 누락점을 포함하고 있는 한 쌍의 삼각형을 이루는 점이다(그림 5).

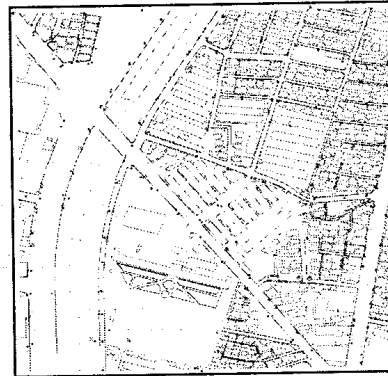


그림 5. 위치 보정

단계 3. 후처리 : 위치 보정 후 기본도에 보정된 전주를 최종 검증하는 단계로, 기본도내 다른 설비와 비교하여 위상적으로 잘못 위치했을 경우에 위치를 다시 설정한다. 예를 들면 도로 중심 근처나 건물 외곽선 안에 전주가 위치하는 경우이다. (그림 6)은 잘못 보정된 전주의 도로와 건물 외곽선에 대한 위상관계를 나타낸다.

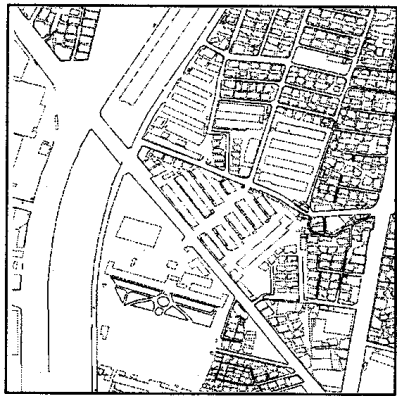


그림 6 후처리

4-2. 시험 결과 분석

부산 지역의 전주를 대상으로 임의의 전주 10 개를 선정하여 단계별로 자동 보정 처리를 한 결과의 정확성을 자체 점검하기 위한 실험 결과를 (표 3)과 같이 도표화하였다. 조사 대상이 되는 전주의 유형은 전처리 후의 누락점(M)과 기준점(C)이며, 육안 확인을 통해 전주의 분류가 적절한지를 판단한다. 자체점검은 기준점이 되는 설비도의 전주를 하나씩 누락점으로 간주하여 위치 보정한 것이다. 삼각형 유사도 측정 시 오차 허용 거리는 5m, 유사도는 0.98 로 지정하였다.

유형	설비도 좌표	기본도 좌표	대응 여부	육안 확인	위치 보정	자체 점검
M	207018 190430		×	○	207018 190431	
M	207066 190357	207064 190365	×	○	207068 190359	
C	207175 190379	207175 190380	○	○		207175 190380
C	207157 190346	207157 190349	○	○		207157 190348
M	207167 190256	207151 190273	×	○	207170 190260	
C	207278 190381	207279 190382	○	○		207279 190383
C	207361 190407	207361 190408	○	○		207360 190409
C	207416 190420	207415 190422	○	○		207416 190421
M	207450 190427		×	○	207450 190429	
C	207329 190288	207329 190290	○	○		207330 190290

표 3. 전주 유형에 따른 자동 보정 처리 결과 (단위 m)

전주 유형에 따라 위치 보정 후 실좌표 뿐만아니라 전문가의 육안 확인의 결과를 통하여 보정의 결과가 올바르다는 판단을 얻을 수 있다. 그러면, 보정 정도를 결정하는 오차 허용 거리와 유사도 값에 따른 누락점(M) 개수와 오분류점(F) 개수, 보정된 점과 오분류점 사이의 평균거리, 자체점검 후 보정된 점과 실제 기본도의 전주 간의 평균 거리는 (표 4)와 같다.

보정 정도	M(개)	F(개)	위치보정	자체점검
10m, 0.95	45	38	2.93	4.11
10m, 0.98	48	41	3.06	3.90
5m, 0.95	59	52	2.62	3.62
5m, 0.98	61	54	2.85	3.57

표 4. 보정 정도에 따른 자동 보정 처리 결과 (단위 m)

같은 오차허용거리를 주었을 때, 유사도가 1 에 가까울 수록 즉, 합동의 정도가 강할 수록 대응되는 쌍의 거리가 작으며 자체점검 후의 오차도 작다. 또한 같은 유사도에서 오차 허용 거리가 작을수록 마찬가지로이다. 이것은 기준점의 신뢰성이 높다고 할 수 있다. 그러나 지나치게 오차 허용 거리를 작게 하고 유사도를 1 에 가깝게 하면 기준점으로 분류될 전주를 누락점과 오분류점으로 분류함에 따른 보정 오차를 예상할 수 있다. 따라서, 오차 허용 거리와 유사도 값을 일률적으로 결정하기 보다는 도면의 상태를 판단하여 지정하는 것이 바람직하다.

5. 결론

본 논문에서는 국가기본도 사용을 전제할 때 필연적으로 발생할 수 밖에 없는 기존 도면과의 상대 오차를 자동 보정시키기 위한 기법을 개발하고 이를 실제 경우에 적용하는 과정을 보였다. 본 논문에서 제시하는 방법은 지금까지 연구된 자동 보정 기법[1, 5]과는 달리 입력 자료가 제한적이다. 기존의 자동 보정 방법은 비교 대상이 되는 도면이 모두 수치 지도화 되어 있는데, 반면 여기서 기본도는 모든 자료가 수치 지도화 되어 있으나 설비도는 그렇지 못하다. 따라서 설비도에서 필요로 하는 설비인 전주의 수치 지도화가 요구되고, 전체 작업 대상이 점 데이터가 된다. 두 도면 사이에 기준점으로 설정될 요소들이 없으므로 기준점을 설정하는 것이 이후 작업의 주안점이 되고 기준점의 신뢰도가 높을 수록 또한 많을 수록 좋은 결과를 보여 주었다.

그러나, 점 데이터만으로 공간 관계를 분석하는데는 무리가 따른다. 따라서, 기준점의 추가 입력이 필요하나 사용자 의 개입을 최소화하는 방향으로 알고리즘을 구현, 시스템을 설계하는 작업이 필요하다.

6. 참고문헌

[1] 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.
 [2] R. Laurini and D. Thompson, Fundamentals of Spatial Information System, Academic Press, 1992.
 [3] Y. Zhang, "A Fuzzy Approach to Digital Image Warping", IEEE Computer Graphics and Applications, pp.34-41, 1996.
 [4] J. Gomes, Warping and Morphing of Graphical Objects, Proceedings of SIGGRAPH, 1995.
 [5] M. G. Cho, "A Rubber sheeting Method with Polygon Morphing," Proceedings of 7th International Symposium on Spatial Data Handling, Vol.1, 1996.
 [6] S. Anderson, Morphing Magic, Sams, 1993