

동적 삼각형 영상 왜곡 보상 방법을 이용한 위성 영상 정합 알고리즘

전병민, 이흥재, 이쾌희
서강대학교 전자공학과

The matching algorithm with the satellite images using a dynamic triangular image warping method

Byung Min Jeon, Heung Jae Lee, Kwae Hi Lee
Sogang Univ. Electronic Eng. Dept.

Abstract - This paper presents the matching algorithm with the satellite images using the image warping method. Two stereo images, which are used for the DEM(Digital Elevation Model) extraction, are generally distorted because the images are acquired at different locations and angles. Therefore, the matching process can't be executed with the original images. To solve this problem, a dynamic triangular image warping method is proposed. At first, the initial matching is executed with seed point, and then, using the matched points from the initial matching, the distorted images is compensated. We experimented this algorithm with the parts of the 6000×6000 SPOT satellite images. The experiment results show this algorithm is superior to other warping algorithm.

1. 서 론

스테레오 영상으로부터 두 영상의 동일점을 찾는 정합은 3차원 정보 추출 결과를 좌우하는 중요한 과정이다. 특히 위성 영상을 이용한 수치지형표고모델(Digital Elevation Model)작성에 있어 정합 알고리즘은 취득된 영상의 관측 각도와 시각에 따라 다르게 왜곡되어 있기 때문에 원 영상을 이용하여 정합을 수행하기는 어렵다. 위성 영상의 이러한 문제점을 해결하기 위하여 창틀 변환(window warping)과 영상변환(image warping) 방법이 사용된다. 창틀 변환 방법은 최소 자승(least square) 관점에서 정합 대상 영역의 모양이 유사해지도록 하는 방법이고, 영상 변환 방법은 어느 한 영상을 기준으로 다른 하나의 영상을 변형시켜 점차적으로 두 영상이 같아지도록 하는 방법이다. 그러나 창틀 변환의 방법의 경우 정합을 수행할 때마다 대상 영역을 형성하기 때문에 정합 수행시간이 오래 걸리는 단점이 있고, 영상 변환 방법의 경우 변환을 수행하기 위해서는 이전 단계의 정합 결과인 시차 정보가 필요하다는 단점이 있다.

본 논문에서는 이러한 두 변환 방법의 단점을 해결하기 위하여 우선 창틀 변환 방법을 사용하여 주어진 좌, 우 영상에서 씨앗점(seed point)의 변이를 구한 후, 이 정보를 이용하여 전체적인 영상의 왜곡을 보상하는 영상 변환 방법을 사용하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 본론의 1절에서는 알고리즘의 전체적인 흐름도를, 2절에서는 주어진 영상에서 씨앗점의 선택하여 초기 정합을 수행하는 과정에 대하여 설명하였다. 3절과 4절에서는 씨앗점의 정합을 수행한 후, 정합된 씨앗점을 이용하여 영상의 왜곡을 보상하는 방법과 스테레오 정합에 대하여 설명하고, 끝으로 5절에서는 실제 위성 영상을 적용한 실험 결과를 보였다.

2. 본 론

2.1 전체적인 흐름도

그림 1은 동적 삼각형 영상 왜곡 보상 방법을 이용한 위성 영상 정합 알고리즘의 전체적인 흐름도를 나타낸다.

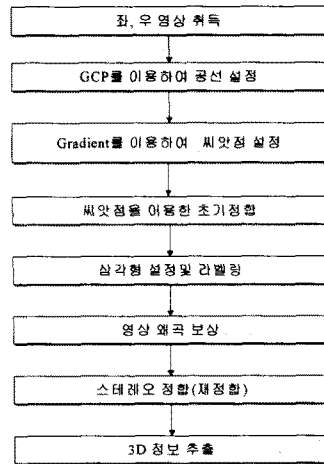


그림 1. 전체적인 흐름도

정합을 수행하기 위한 영상이 취득되면 지상 기준점을 이용하여 공선을 설정하여, 영상에서 탐색 영역을 2차원에서 1차원으로 감소시킨다. 그리고 미분 연산자를 이용하여 영상에서 씨앗점(seed point)을 설정하고, 이것을 이용하여 초기 정합을 수행한다. 초기 정합 결과 정합된 점들을 이용하여 영상에서 삼각형을 형성하고 이것을 라벨링한다. 라벨링된 각 삼각형에 대해 이파인 모델을 설정하여 이것을 이용하여 영상의 왜곡을 보상한다. 마지막으로 왜곡이 보상된 영상을 이용하여 정합을 수행하고, 이 결과로부터 3차원 정보를 추출하게 된다.

2.2 초기 정합

영상의 왜곡을 보상하기에 앞서 씨앗점을 이용하여 초기 정합을 수행한다.

2.2.1 씨앗점(seed point) 선택

영상의 움직임을 추정하기 위하여 영상에서 동적으로 씨앗점을 선택하는 방법이 Dudon[1]에 의하여 언급되었다. 본 논문에서는 그림 2와 같은 미분 연산자인 그래디언트 연산자를 이용하여 씨앗점을 선택하였다. 각각의 씨앗점은 다음과 같은 식(1), (2)를 만족해야 한다.

$$SG(x,y) = 0.5(G(x)+G(y)) > Th \quad (1)$$

$$| N1-N2 | > Distance \quad (2)$$

식(1)을 이용하여 밝기 값이 변화는 부분에서 씨앗점을 추출하였다. 추출된 씨앗점이 영상에서 고르게 분포

하도록 식(2)를 이용하였다.

-1	-2	-1
0	0	0
1	2	1

G(x)

-1	0	1
-2	0	2
-1	0	1

G(y)

그림 2. 그래디언트(Gradient) 연산자

2.2.2 초기 정합(Initial matching)

기준 영상(reference image)에 대하여 대상 영상(target image)의 왜곡을 보정하기 위하여 선택된 씨앗점을 가지고 정합을 수행하였다. 두 영상이 서로 다르게 왜곡되어 있으므로 창틀 변환[2]방법을 사용하였다. 정합 수행 시 정합 여부를 판단하는 유사함수로는 식(3)와 같이 조도(illumination)와 채도(contrast)의 변화에 영향을 덜 받는 정규 상관 계수(NCC)를 사용하였다.

$$Corr(i, j, m, n) = \frac{\frac{1}{N} \sum_{a=-w1/2}^{w1/2} \sum_{b=-w2/2}^{w2/2} (L[i+a][j+b]R[m+a][n+b] - M(i, j)M(m, n))}{\sigma(i, j)\sigma(m, n)} \quad (3)$$

여기서 w1, w2는 창틀의 크기, M은 창틀내의 밝기 값의 평균, σ는 창틀내의 밝기 값의 표준 편차이다.

2.3 영상 왜곡 보정

초기 정합 과정을 통하여 정합된 씨앗점들을 이용하여 삼각형을 형성한 후, 각각의 삼각형 모델을 이용하여 영상의 왜곡을 보정하였다.

2.3.1 삼각형 형성 및 라벨링

입의 주어진 점들을 이용하여 삼각형을 형성하기 위한 많은 연구가 수행되었다. 본 논문에서는 델로네(Delaunay)의 삼각 분할 방법을 사용하였다[3].

형성된 삼각형으로부터 각각의 삼각형 영역을 라벨링하기 위하여 정해진 세점의 위치 관계를 고려 하였다. 삼각형을 이루는 세점을 A, B, C라고 하면 식(4)을 만족하는 평면을 삼각형으로 라벨링 한다.

$$\begin{aligned} Surface(Point(A) \subset S(BC)) \\ \cap Surface(Point(B) \subset S(CA)) \\ \cap Surface(Point(C) \subset S(AB)) \end{aligned} \quad (4)$$

식(4)은 다른 한 점을 포함하는 직선의 영역으로 이루어진 평면들의 교집합을 나타낸다.

그림 3은 주어진 세 점으로 라벨링한 결과를 나타낸다. 그림에서 각각 라벨된 세 평면의 교집합(흰색 부분)이 삼각형의 영역을 나타낸다.

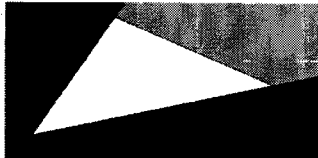


그림 3. 삼각형 라벨링

2.3.2 어파인 모델을 이용한 영상 왜곡 보정

라벨링된 삼각형을 이용하여 각각의 삼각형 어파인(Affine)모델을 형성한 후, 각각의 삼각형 영역 내에 해당하는 점들에 대하여 영상 왜곡 보정을 수행한다.

두 영상의 동일점을 이용한 어파인 변환식은 식(5)와 같이 주어진다.

$$\begin{aligned} x &= a_1 + a_2x + a_3y \\ y &= a_4 + a_5x + a_6y \end{aligned} \quad (5)$$

여기서 x 와 y 는 기준 영상 좌표 X, Y 에 대응하는

대상 영상의 좌표를, a₁, a₂, a₃, a₄, a₅, a₆는 어파인(Affine) 계수를 나타낸다. 어파인 계수는 삼각형을 형성하는 세 점을 이용하여 구할 수 있다. 식(6)은 어파인 계수를 구하기 위해 삼각형을 형성하는 세 점을 행렬식으로 나타낸 것이다.

$$\begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ y_1 \\ y_2 \\ y_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & x_1 & y_1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & x_2 & y_2 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & x_3 & y_3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & x_1 & y_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & x_2 & y_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & x_3 & y_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \\ a_5 \\ a_6 \end{bmatrix} \quad (6)$$

각각의 삼각형 영역에 포함되어 있는 점들의 대응점은 식(7)과 같은 간단한 일차 변환 식으로 표시 할 수 있다

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_2 & a_3 \\ a_5 & a_6 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} a_1 \\ a_4 \end{bmatrix} \quad (7)$$

기준 영상의 모든 점에 대하여 식(7)을 적용한다. 각 영역에 해당하는 삼각형 어파인 모델을 사용하여 대상 영상의 왜곡을 보정한다.

2.4 스테레오 정합

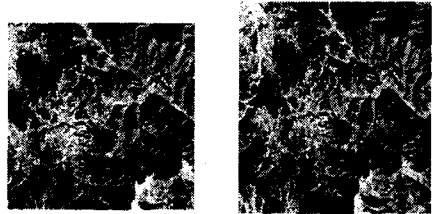
왜곡이 보정된 대상 영상과 기준 영상을 이용하여 정합을 수행한다. 정합을 수행할 때 정합 창틀로는 구원이 용이한 직사각형 모양의 창틀을 사용하였으며, 그림 4와 같은 알고리즘을 사용하여 탐색 영역을 설정하였다. 정합 여부를 판단하는 유사함수로는 식(3)과 같은 정규 상관 계수(NCC)를 사용하였다.

- Step 1: 초기 탐색 영역 설정
- Step 2: if f(n-1) > Th 이면 n-1 점을 이용하여 탐색 영역 설정
else if f(n-2) > Th 이면 n-2 점을 이용하여 탐색 영역 설정
- Step 3: 탐색 영역을 이용하여 정합 수행
- Step 4: 모든 점에 대하여 Step 2-4 를 반복 수행

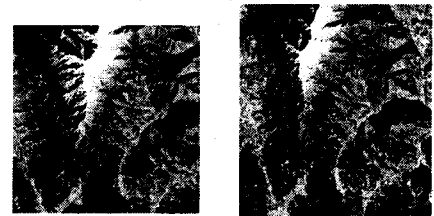
그림 4. 탐색영역 설정방법

2.5 실험 결과

그림 5와 6은 대전, 충청 지역 6000×6000 SPOT 영상의 일부분이다. 각 그림의 (a)와 (b)는 기준 영상과 대상 영상을 나타낸다. 기준 영상의 전 영역이 대상 영상에 포함되도록 대상 영상을 크게 잘랐으며 기준 영상의 크기는 400×400이다.



(a)기준 영상 (b)대상 영상
그림 5. 실험 영상 A



(a)기준 영상 (b)대상 영상
그림 6. 실험 영상 B

표 1은 각 영상의 왜곡을 보정하기 위해 사용된 씨앗

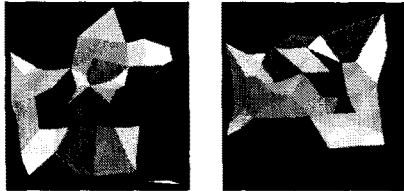
점의 개수와 초기 정합 과정에서 정합된 씨앗점의 수를 나타낸다.

각 영상으로부터 100개의 씨앗점을 추출하여 초기 정합을 수행하였다. 초기 정합과정에서는 비교적 유사도가 높은 점들을 정합 점으로 고려하였다.

표1. 씨앗점 개수와 정합된 씨앗점 개수

	씨앗점개수	정합된 점	정합임계값
실험 영상A	100	75	0.8
실험 영상B	100	56	0.8

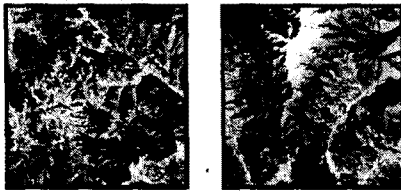
그림 7은 정합된 씨앗점을 이용하여 삼각형을 형성하고 라벨링한 결과를 나타낸다. 각 삼각형의 꼭지점이 정합된 씨앗점을 나타낸다.



(a) 실험 영상 A (b) 실험 영상 B

그림 7. 삼각형 형성 및 라벨링

그림 8은 삼각형 어파인 모델을 이용하여 각 실험 영상의 대상 영역의 왜곡을 보정한 결과를 나타낸다.



(a) 실험 영상 A (b) 실험 영상 B

그림 8. 영상 왜곡 보정

영상 왜곡 보정 결과 대상 영상이 기준 영상과 흡사해지는 것을 확인할 수 있었다. 왜곡이 보정된 대상 영상과 기준 영상과의 재 정합을 통하여 스테레오 영상으로부터 3차원 정보를 추출하였다. 표2와 표3은 각 실험 영상에 대한 정합 결과를 창틀 변환 방법과 비교하여 나타낸 것이다. 정합결과 창틀 변환에 비해 수행시간이 단축됨과 동시에 정합율이 높아지는 것을 볼 수 있었다.

표2. 실험 영상 A의 정합 결과

	정합시간	평균높이	정합율
본 알고리즘	13분 34초	247.14m	97.0%
창틀 변환	38분 26초	244.76m	96.1%

표3. 실험 영상 B의 정합 결과

	정합시간	평균높이	정합율
본 알고리즘	15분 42초	394.69m	90.0%
창틀 변환	60분 45초	396.67m	80.3%

정합의 정확도를 판별하기 위하여 추출된 3차원 정보를 이용하여 1:25,000 지도를 작성하여 실제 지도와 비교하였다. 그림 9는 각 실험 영상의 지도 작성 결과를 나타낸다. 지도 작성 결과 작성된 지도가 실제 지도와 거의 흡사한 것을 볼 수 있었다. 그림 10은 정합된 결과를 3차원으로 복원한 것이다.

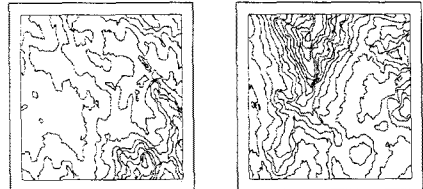
3. 결 론

본 논문에서는 동적 삼각형 영상 왜곡 보정 방법을 이용한 영상 정합 알고리즘에 대하여 다루었다. 기준 영상으로부터 추출된 씨앗점을 이용하여 초기 정합을 수행한 후, 정합된 씨앗 점을 기반으로 각각의 삼각형 모델을 형성하였다. 형성된 각각의 삼각형 모델을 이용하여 영

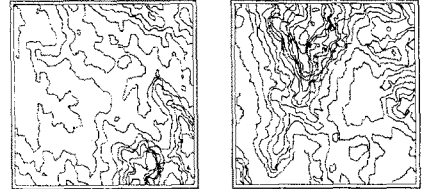
상의 왜곡을 보정한 후, 재 정합을 수행하였다. 실험 결과 창틀 변환을 이용하여 왜곡을 보정하는 방법에 비해 높은 정합 율을 가져옴과 동시에 정합 수행시간을 줄이는 것을 알 수 있었다.

(참 고 문 헌)

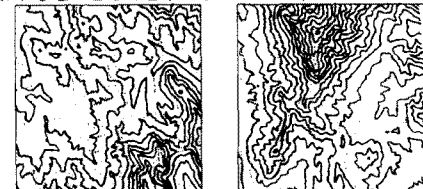
- (1) M. Dudon, O. Avaro, and C. Roux, "Triangular active mesh for motion estimation," *Signal Processing : Image Communications*, vol. 10, nos. 1-3, pp. 21-42, July 1997.
- (2) A. W. Gruen, "Adaptive least-squares correlation algorithm," *S. Afr. J. of Photogrammetry, Remote Sensing and Cartography*, vol 14, no.3, pp. 175-187, 1985.
- (3) Joseph O'Rourke, *Computational Geometry in C*, Cambridge Univ. Press, pp.170-204, 1994.



(a) 본 알고리즘(실험 영상A(좌), 영상B(우))

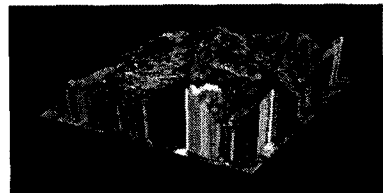


(b) 창틀 변환(실험 영상A(좌), 영상B(우))

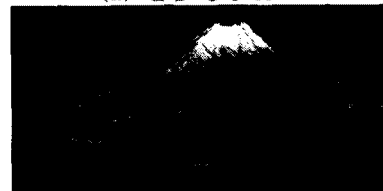


(c) 실제 지도(실험 영상A(좌), 영상B(우))

그림 9 지도 작성 결과 비교



(a) 실험 영상 A



(b) 실험 영상 B

그림 10. 3차원 복원 결과