

## 그레디언트 히스토그램을 이용한 정합 창틀 크기의 자동적인 결정

문창기<sup>†</sup> · 예철수

극동대학교 컴퓨터정보표준학부

## Automatic Determination of Matching Window Size Using Histogram of Gradient

Chang-Gi Moon<sup>†</sup> and Chul-Soo Ye

School of Computer Science, Information and Standard, Far East University

**Abstract :** In this paper, we propose a new method for determining automatically the size of the matching window using histogram of the gradient in order to improve the performance of stereo matching using one-meter resolution satellite imagery. For each pixel, we generate *Flatness Index Image* by calculating the mean value of the vertical or horizontal intensity gradients of the 4-neighbors of every pixel in the entire image. The edge pixel has high flatness index value, while the non-edge pixel has low flatness index value. By using the histogram of the *Flatness Index Image*, we find a flatness threshold value to determine whether a pixel is edge pixel or non-edge pixel. If a pixel has higher flatness index value than the flatness threshold value, we classify the pixel into edge pixel, otherwise we classify the pixel into non-edge pixel. If the ratio of the number of non-edge pixels in initial matching window is low, then we consider the pixel to be in homogeneous region and enlarge the size of the matching window. We repeat this process until the size of matching window reaches to a maximum size. In the experiment, we used IKONOS satellite stereo imagery and obtained more improved matching results than the matching method using fixed matching window size.

**Key Words :** IKONOS satellite imagery, stereo matching, histogram analysis, gradient calculation.

**요약 :** 본 논문에서는 1m 해상도의 위성 영상에서 스테레오 정합의 성능을 향상시키기 위해 그레디언트 히스토그램을 이용하여 정합 창틀의 크기를 자동적으로 결정하는 방법을 제안한다. 영상의 각 화소에 대해 4-neighbor에 위치한 화소의 수평 또는 수직 방향의 평균 그레디언트 값을 계산하여 평탄화 지수 영상(Flatness Index Image)을 생성한다. 강한 에지 화소는 높은 평탄화 지수를 가지며 반면에 비에지 화소의 경우에는 낮은 평탄화 지수를 가진다. 평탄화 지수 영상의 히스토그램을 이용하여 각 화소의 에지 또는 비에지 화소 여부를 결정하는 평탄화 임계값을 구한다. 각 화소의 평탄화 지수가 평탄화 임계값보다 크면 에지 화소로, 작으면 비에지 화소로 분류한다. 초기 정합 창틀 내에 존재하는 비에지 화소의 비율이 작으면 밝기 값 변화가 적은 영역으로 판정하고 정합 창틀의 크기를 더 크게 설정하고 이 과정을 정합 창틀이 최대 크기 에 도달할 때까지 반복적으로 수행한다. IKONOS 스테레오 위성영상을 실험영상으로 사용하였으며 고정 크기의 정합 창틀을 이용한 방법에 비해 향상된 정합 결과를 얻었다.

2007년 4월 1일 접수 ; 2007년 4월 10일 수리.

† 교신저자: 문창기(199902017@infomail.kdu.ac.kr)

## 1. 개요

최근 인공위성 및 우주 환경 이용 영역에 대한 관심이 국제적으로 증대함에 따라 원격탐사기술 또한 급격하게 발달하고 있다. 2006년 7월에 발사된 다목적 실용 위성2호기(KOMPSAT-2)가 1m 급의 고해상도 위성영상을 제공함에 따라 이를 이용한 도시 지역의 3차원 모델 구축이 매우 중요한 연구 분야로 자리 잡을 것으로 예상된다.

그동안 1m 급의 고해상도 위성영상에서 도시 지역의 DEM(Digital Elevation Model) 추출을 위해 스테레오 정합과 관련된 연구가 수행되었으며 밀집한 건물들 사이의 고도 불연속 문제를 해결하고자 하는 연구가 수행되었다(예철수, 문창기, 전종현, 2007).

본 논문에서는 1m 급의 고해상도 위성영상에서 스테레오 정합의 성능을 향상시키기 위해 그레디언트의 히스토그램을 분석하여 스테레오 정합 창틀의 크기를 자동적으로 결정하는 방법을 제안한다.

## 2. 스테레오 정합 창틀 크기의 자동 결정

스테레오 정합 시 유사도 판별에 사용되는 특징 요소를 밝기값 이외에 다수의 특징 요소를 사용할 경우에 단일 특징을 사용할 때보다 정합 성능이 향상되는 연구가 보고되었다(Jawahar and Narayanan, 2002a, 2002b). 다차원의 특징을 이용한 스테레오 정합의 경우 기존 연구에서는 정합 창틀의 크기를 일정한 크기로 고정하고 정합을 수행하였으나 본 논문에서는 다차원특징 정합의 정합 창틀을 가변적으로 적용하는 방법을 제안한다.

영역 기반 스테레오 정합에서는 정합 창틀의 크기가 작아지면 정합의 정확도는 향상되지만 잡음의 영향을 많이 받게 된다. 반대로 정합 창틀의 크기가 커지면 정합의 정확도는 저하되지만 잡음의 영향을 적게 받게 된다. 따라서 정합 창틀의 크기는 영역 기반 스테레오 정합의 성능을 결정짓는 중요한 요인이 된다.

본 논문에서 제안하는 방법은 스테레오 정합 시 정합 창틀 내부 화소의 에지 정보를 기초로 에지 화소가 많이 포함된 경우 non-homogeneous 영역으로 간주하여 정합 창틀의 크기를 작게 하고 반대로 에지 화소가 적게

포함된 경우에는 homogeneous 영역으로 간주하여 정합 창틀의 크기를 증가시키는 정합을 수행하여 정합 성능을 향상시키는 방법을 제안한다.

### 1) 평탄화 지수 영상 생성

기준 영상 내 화소들의 에지 정보를 나타내는 평탄화 지수 영상을 생성하기 위해 기준 영상의 중심 화소로부터 각각 한 화소 거리의 대각 방향에 놓여진 4개 화소들에 대해 각 화소의 수직 및 수평 방향의 그레디언트를 식 (1)과 같이 정의하여 계산한다.

$$F(x, y) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^4 (G_i)^2}{4}}$$

$F = \text{Flatness Index}$  (1)

$$\begin{aligned} G_1 &= f(x-1, y-1) - f(x+1, y-1) \\ G_2 &= f(x+1, y-1) - f(x+1, y+1) \\ G_3 &= f(x+1, y+1) - f(x-1, y+1) \\ G_4 &= f(x-1, y+1) - f(x-1, y-1) \end{aligned}$$

Fig. 1과 같이 생성된 평탄화 지수 영상의 히스토그램 분포에서 평탄화 임계값( $F_T$ )을 설정한다. 평탄화 임계값보다 큰 화소는 에지 근처에 위치할 가능성이 높고 반대로 평탄화 임계값보다 작은 화소는 밝기변화가 일정한 화소일 가능성이 높게 된다.

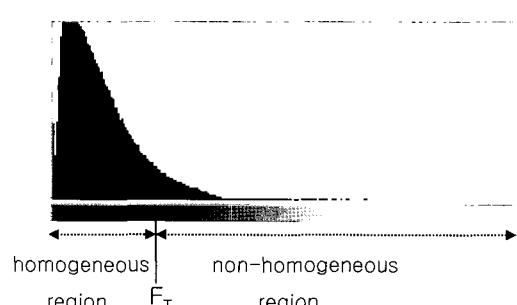


Fig. 1. Histogram analysis of gradient.

### 2) 정합 창틀 크기의 자동적인 결정

Fig. 2와 같이 정합 창틀의 크기를 자동으로 결정하기 위하여 초기 정합 창틀의 크기를  $3 \times 3$ 으로 고정 시킨 후 식 (2)로 정의되는  $\partial$ 값을 계산한다.

$$\partial = \frac{n}{N} \quad (2)$$

여기서  $\partial$ 값은 정합 창틀 내 총 화소들의 수( $N$ )를 정합

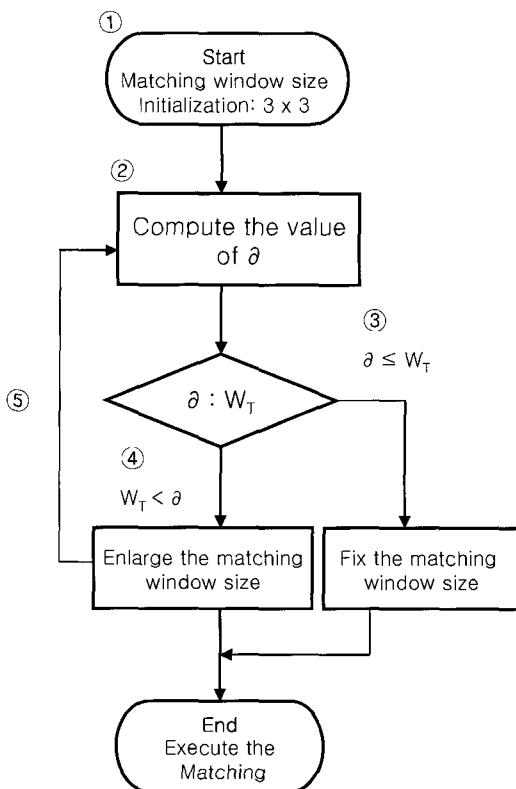


Fig. 2. Determination of the size of matching window.

창틀 내 총 화소들 중에서 평탄화 임계값( $P_T$ )보다 작은 화소들의 수( $n$ )로 나눈 값으로 정의된다. 이때  $\theta$ 값이 정합 창틀 크기 결정 임계값( $W_T$ ) 이하일 경우 해당 화소는 non-homogeneous 영역에 속하는 것으로 간주하여 정합 창틀의 크기를 크게 고정 시킨 후 정합을 수행한다 ( $① \rightarrow ② \rightarrow ③$ 과정). 반면  $\theta$ 값이  $W_T$  보다 클 경우 해당 화소는 homogeneous 영역에 속하는 것으로 간주하여 정합 창틀의 크기를 확대 시킨 후  $②$ 에서  $⑤$ 까지의 과정을 반복하면서 정합을 수행한다.

### 3. 실험 결과

실험에 사용된 영상은 1m의 공간해상도를 가지는 대전지역 IKONOS 스테레오 위성 영상으로서 다양한 도시 지역 건물이 존재한다(Fig. 3). Fig. 4는 식 (1)을 통해 얻어진 평탄화 지수 영상으로 평탄화 지수가 크면 밝은 색으로 작으면 어두운 색으로 나타낸다.



Fig. 3. IKONOS satellite stereo imagery.

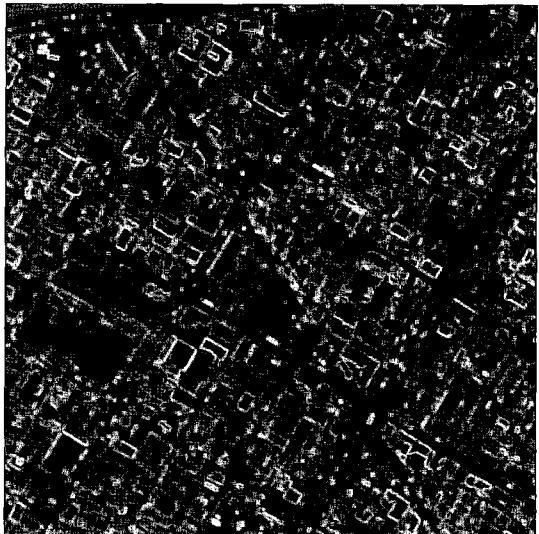


Fig. 4. Flatness index image.

본 논문에서는 정합 창틀의 크기를 각각  $3 \times 3$ 에서  $9 \times 9$ 까지 고정시키고 밝기값만을 사용하여 정합한 경우(실험1, IM), 가변 정합 창틀에 밝기값을 사용한 경우(실험2, IAM), 정합 창틀의 크기를 각각  $3 \times 3$ 에서  $9 \times 9$ 까지 고정시키고 밝기값과 그레이디언트를 사용하여 정합한 경우(실험3, IGM), 가변 정합 창틀에 밝기값과 그레이디언트를 사용하여 정합한 경우(실험4, IGAM)로 구분하여 실험을 하였다. 각 실험 결과에 대한 정량적인 분석을 위해서 IKONOS 스테레오 위성 영상에서 수작업을

Table 1. RMSE comparison of matching methods  
( $M_S$ : matching window size,  $M_T$ : matching threshold)

	$M_S$	$M_T$	$F_T$	$W_T$	RMSE
IM	$3 \times 3$	40	-	-	2.23
	$5 \times 5$	20	-	-	1.99
	$7 \times 7$	20	-	-	1.48
	$9 \times 9$	30	-	-	1.93
IAM	-	20	40	0.4	1.40
IGM	$3 \times 3$	60	-	-	1.69
	$5 \times 5$	40	-	-	1.58
	$7 \times 7$	40	-	-	1.42
	$9 \times 9$	40	-	-	1.70
IGAM	-	40	40	0.4	1.23

이용하여 총 100개의 GCP(Ground Control Points)를 추출하고 각 실험 결과에서 얻어진 정합 쌍과 비교하여 RMSE 값을 계산하였다.

Table 1은 각 실험 결과에 대한 RMSE 값을 비교한 결과이다. 밝기값을 이용하여 가변 정합 창들을 이용한 경우(IAM)가 고정된 정합 창들( $3 \times 3$ ,  $5 \times 5$ ,  $7 \times 7$ ,  $9 \times 9$ )을 이용한 방법(IM)보다 작은 RMSE 값을 얻었다. 밝기값과 그레디언트를 동시에 정합에 이용한 경우(IGAM)에도 고정된 정합 창들( $3 \times 3$ ,  $5 \times 5$ ,  $7 \times 7$ ,  $9 \times 9$ )을 이용한 방법(IGM)보다 작은 RMSE 값을 얻었다. Fig. 5는 가변 정합 창들 및 밝기값과 그레디언트를 이용한 정합 결과(IGAM)로 얻어진 변이지도이다.

Fig. 6은 IGAM 방법에서 평탄화 임계값( $F_T$ )의 변화



Fig. 5. Disparity map of proposed method.

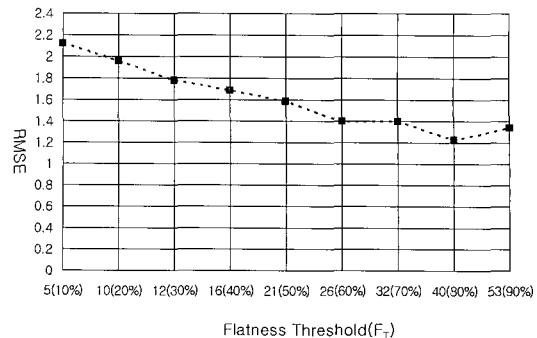


Fig. 6. RMSE variation according to the flatness threshold ( $F_T$ ).

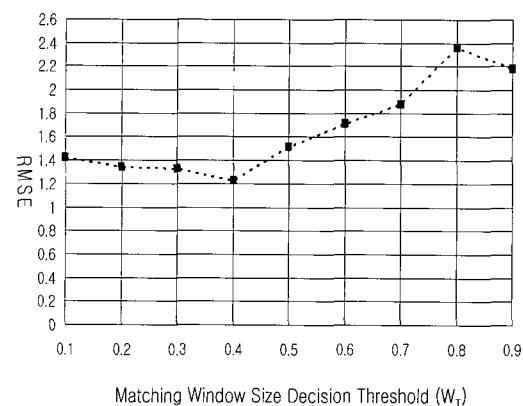


Fig. 7. RMSE variation according to the threshold ( $W_T$ ) used to determine the size of matching window

에 따른 RMSE 값의 변화를 보여준다. X축의 숫자는 평탄화 임계값( $F_T$ )을 의미하며 괄호안의 백분율은 히스토그램의 percentage를 의미한다.  $F_T=40$ 에서 RMSE 값이 최소가 되며  $F_T>40$  또는  $F_T<40$ 인 경우에는 RMSE 값이 증가한다. 평탄화 임계값( $F_T$ )을 설정하기 위해 본 실험에서는 히스토그램의 상위 80%에 해당하는 값으로 평탄화 임계값( $F_T=40$ )을 설정하였다.

Fig. 7은 IGAM 방법에서 정합 창들 크기 결정 임계값( $W_T$ )의 변화에 따른 RMSE 값의 변화를 보여준다.  $W_T=0.4$ 에서 RMSE 값이 최소가 되며  $W_T<0.4$  또는  $W_T>0.4$ 인 경우에는 RMSE 값이 증가한다. 본 실험에서는 평탄화 임계값이  $F_T=40$ 이고 정합 창들 크기 결정 임계값이  $W_T=0.4$ 일 때 가장 작은 RMSE 값을 얻을 수 있었다.

## 4. 결 론

본 논문에서는 1m 공간해상도를 가지는 도시 지역의 위성영상에서 스테레오 정합의 성능을 향상시키기 위해 그레디언트의 히스토그램을 이용하여 정합 창들의 크기를 가변시키는 방법을 제안하였다. 제안한 방법은 정합 창들 내에 정보에 기초하여 정합 창들의 크기를 변화 시킴으로써 고정된 정합 창들을 이용하는 스테레오 정합 방법보다 우수한 정합 성능을 얻을 수 있었다.

추후 연구 과제로는 스테레오 정합에 사용되는 특징 성분을 밝기값과 그레디언트 이외에 다양한 특징으로 확장하여 적용시키는 연구가 필요하다.

## 사 사

이 논문은 2004년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었음(KRF-2004-041-D00713).

## 참고문헌

- 예철수, 문창기, 전종현, 2007. 방향성 특징벡터를 이용한 스테레오 정합 기법, 제어자동화시스템공학논문지, 13(1): 52-57.
- Jawahar, C. V. and Narayanan, P. J., 2002a. Generalised correlation for multi-feature correspondence, *Pattern Recognition Letter*, 35: 1303-1313.
- Jawahar, C. V. and Narayanan, P. J., 2002b. An adaptive multifeature correspondence algorithm for stereo using dynamic programming, *Pattern Recognition Letter*, 23: 549-556.