

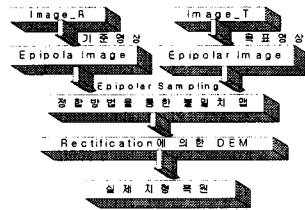
## 2단계 스테레오 정합기법을 이용한 DEM 추정

남창우, 우동민  
 명지대학교 정보제어공학과

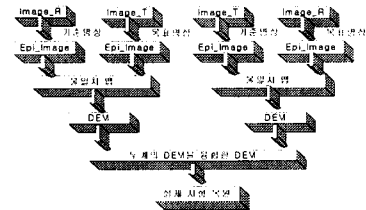
### DEM Estimation Using Two Stage Stereo Matching Method

Chang Woo Nam, Dong Min Woo  
 Information and Control Engineering, Myong-ji University

**Abstract** - - A Stereo matching has been an important tool for reconstructing three dimensional terrain. In this stereo matching process, DEM(Digital Elevation Map) can be generated by the disparity from reference image to target image. Generally disparity map in matching process can be implemented by wrapping from reference image to target image and if the role of reference and target is interchanged, the different DEM can be obtained. To evaluate the generated DEM from matching process, We adapted the Photorealistic synthetic image generator using ray tracing technique. The generator produce two simulated image from previous DEM and Ortho-image which is regard as Ground-truth. In this paper, we are concern about estimating more accurate DEM from these two DEMs. The several fusion methods of two DEMs are proposed to generate accurate DEM and compared with previous method. one of fusion methods is by using Cross-Correlation match score and the true DEM should have a high matching score.



(a) 한 개의 DEM



(b) 두 개의 DEM

그림 1 실제 지형 복원 순서도

## 1. 서론

항공영상과 같은 고 해상도의 디지털 이미지는 3차원 지형 정합응용 분야에서 새로운 관심이 되었다. 응용 분야의 목적은 광범위한 위치와 각도에서 촬영된 이미지로부터 효과적이고 정확하게 복원하는데 있으며, 방위 및 GIS(Geometric Information System) 사업의 핵심인 항공 및 위성 영상에 의한 정확한 지도 제작에 적용되고 있다. 이러한 3차원 지형을 복원하는데 스테레오 정합은 중요한 역할을 해왔다. 스테레오 정합 과정에서 지형의 높이는 한 영상에서 다른 영상간의 불일치로부터 구해질 수 있으며 일반적으로 reference영상으로부터 target영상을 탐색하므로 수행되고 reference영상과 target영상의 역할을 바꿔서 다른 DEM(Digital Elevation Map)을 구할 수 있다. 이 논문에서는 DEM을 구하는 전처리 방법인 Epipolar Sampling과 정합방법, Rectification을 제시하고 기존의 방법으로 구한 DEM과 reference 영상과 target영상의 역할을 바꿔서 구한 두 개의 DEM으로부터 더 정확한 DEM과의 평균 오차를 비교한다. 실험 영상으로는 평지가 대부분인 것과 굴곡이 많은 영상을 사용하여 비교하였다.

## 2. 본론

### 2.1 기존의 방법과 개선된 방법의 순서도

그림1-(a)는 한 개의 DEM으로부터 실제 지형을 복원하는 방법을 보여 주고 (b)는 두 개의 DEM으로부터 더 정확한 DEM을 구한 후 실제 지형을 복원하는 순서도를 보여준다.

### 2.2 Epipolar Sampling

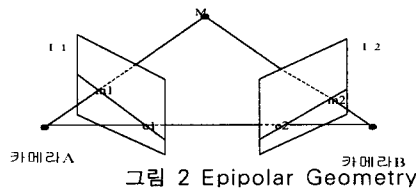


그림 2 Epipolar Geometry

그림 2에서  $I_1$  영상의 Camera 초점 A와  $I_2$  영상의 Camera 초점 B, 그리고 실제세계의 좌표 M, 이 세 점을 연결하여 생긴 평면을 Epipolar 평면이라 하고, 이 평면과 각 영상이 교차하는 선분을 Epipolar 선분이라 한다. 그림 2에서  $m_1e_1$ ,  $m_2e_2$  가 Epipolar 선분이다.  $m_1e_1$  상의 점은  $m_2e_2$  상에 있어서 이 Epipolar 선분을 다른 새로운 영역에 resampling 하여 새로운 영상을 생성한다. 이때 resampling된 영상은 y축은 동일하고 x축으로만 다르다. 그러므로 정합 할 때 동일한 y축에 대해 x축으로만 정합을 하면 된다.

### 2.3 정합 방법

스테레오 영상 정합 방법 중 영역들간의 상관 관계를 이용하여 정합하는 방식인 영역 기반 정합 방법을 사용하였다.

### 2.3.1 다 해상도 기법

영상의 해상도를 1/4로 줄여 다 단계로 나누어서 가장 해상도가 낮은 영역부터 처리하는 방식으로 해상도가 가장 낮은 영역에서 정합을 하고 그 정합에 의해 구해진 disparity 값을 기억하여 다음 해상도에서 target 영상의 disparity에 2배로 영향을 가한다. 이를 해상도가 가장 높은 영역까지 계속한다. 해상도가 가장 좋은 영상에서만 정합을 할 경우 특징이 적은 영상에서 정합 할 때 다른 영상의 정확한 정합 위치를 찾지 못한다. 그러므로 다 해상도 기법을 사용하여 탐색 구간의 초기화를 할 수 있을 뿐만 아니라 탐색 구간을 줄여 속도를 개선한다.

### 2.3.2 가변 윈도우 기법

각 해상도에서 reference 영상의 윈도우 내부의 분산 값을 계산하여 임계치 값 안에 들어 올 때까지 윈도우의 크기를 확장하는 방법이며 즉, 영상의 특징이 없는 부분에서 영상 정합을 할 때 정합 하는 윈도우의 크기를 특징이 있는 부분까지 증가 시켜서 정합 한다.

### 2.3.3 불일치 보간법

정합을 할 때 탐색 구간 내에 특징이 적은 영상일 경우 정확한 정합을 할 수 없고, 최적의 disparity를 구할 수 없다. 이때 정확한 정합치를 구할 수 없는 구간에서는 disparity를 구하지 않고 이전과 이후의 disparity 값에 의해 보간한다. 이때 보간 하는 방법 역시 선형 보간을 사용한다.

### 2.4 Rectification

스테레오 영상 정합에 의해 구해진 Disparity Map을 target 영상에 적용하여 disparity 값만큼 target 영상의 좌표를 이동시킨다. 변환된 reference와 target 영상 좌표를 실제 카메라 좌표로 회전, 이동시킨다. 이동된 좌표와 카메라 초점 좌표를 잇는 3차원상의 직선 방정식을 생성하면 교차점이 생기는데 교차점  $P(x,y,z)$ 에서  $z$ 가 3차원상에서의 높이를 나타낸다. 이로부터 DEM (Digital Elevation Map)을 구성하고 각 좌표의 높이에 대응하는 영상의 pixel 값을 기억하여 orthoimage를 생성한다.

### 2.5 두 개의 DEM 융합

두 개의 DEM을 융합하는 방법으로는 기존에 주로 사용되었던 두 DEM의 평균을 구하여 새로운 DEM을 만드는 방법과 각 DEM 값에 해당하는 Cross-Correlation 값을 비교하여 큰 값의 DEM 값을 취하여 새로운 DEM을 구하는 방법, 그리고 Cross-Correlation에 Threshold 값을 정하여 Threshold보다 큰 Cross-correlation에 해당하는 DEM 값은 Cross-correlation이 비교 후 큰 값을 취하고 Threshold 보다 작은 부분에 대해서는 평균 값을 넣는 방법을 이용하였다.

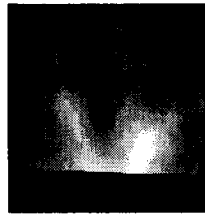
### 2.6 실험 결과 및 고찰



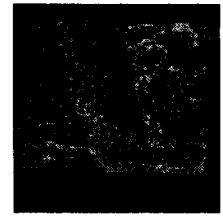
(a) 평지 지형 (b) 굴곡 지형

그림 3 두 가지 지형의 실험 영상

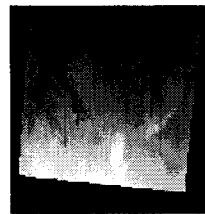
위의 실험 영상으로부터 얻어지는 각 DEM과 Ortho-image는 다음 아래와 같다. 그림(a)와 (c)는 각 지형을 위의 실험 방법으로부터의 계산된 각각의 DEM을 보여주는데 검은 부분은 지형의 높이가 낮은 부분을 나타내고 흰색 부분은 지형이 높은 곳을 표현하고 있다.



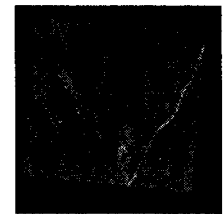
(a) 굴곡지형의 DEM



(b) 굴곡지형의 Ortho-image



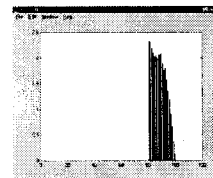
(c) 평지 지형의 DEM



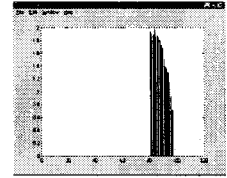
(b) 평지 지형의 Ortho-image

그림 4 실험과정을 통한 DEM과 ortho-image

그림 4와 같은 결과물을 reference와 target 값을 바꿔 새로운 DEM을 만들 수 있는데 각 DEM과 실제 지형의 값으로 정한 Ground-Truth DEM간의 오차와 Cross-Correlation의 상관 관계를 보면 그림 3과 같다. 그림 5에서 보여지는 그래프는 Cross-Correlation 값이 0.8 이상인 부분에 대한 Ground-Truth DEM과 생성된 DEM 간의 평균오차를 보여준다. 즉 Cross-Correlation 값이 클수록 실제 값인 Ground-Truth와의 오차가 적음을 볼 수 있다.



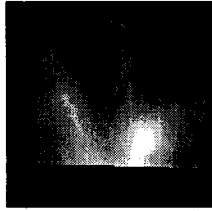
(a) Cross-correlation에 관한 Ground-Truth와 Reference-Target간의 오차



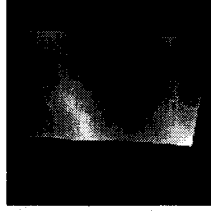
(b) Cross-correlation에 관한 Ground-Truth와 Reference-Target간의 오차

그림 5 Cross-Correlation vs Dem Error

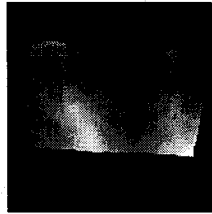
그림 5의 경우를 볼 때 Cross-Correlation의 값이 0.8 이상인 부분에서 비교하여 Cross-Correlation 값이 큰 것의 DEM 값을 선택하여 새로운 DEM을 생성하면 이전의 DEM보다 결과가 실제 지형의 값에 더 근사할 수 있다. 그림 6, 7은 굴곡이 많은 지형과 평면 지형에서의 두 개의 DEM을 융합하는 방법에 따른 각각의 영상과 Ground-Truth DEM 영상을 보여준다.



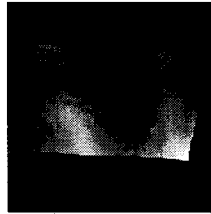
(a)Ground-Truth DEM



(b)평균 DEM

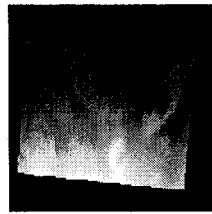


(c)높은 Cross-correlation 값

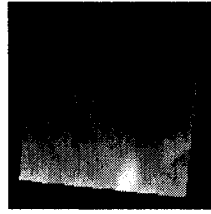


(d)(b)와(c)방법 융합

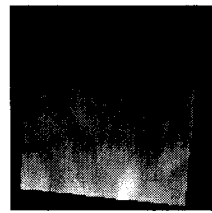
그림 6 굴곡 지형의 Ground-Truth DEM 영상과 두 개의 DEM을 융합한 영상



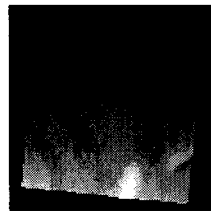
(a)Ground-Truth DEM



(b) 평균 DEM



(c)높은 Cross-correlation 값



(d)(b)와(c)방법 융합

그림 7 평지 지형의 Ground-Truth DEM영상과 두 개의 DEM을 융합한 영상

굴곡이 많은 지형과 평지가 많은 지형에서의 두 개의 DEM을 융합하는 방법에 의해 생성된 DEM과 실제 DEM과의 각 평균 오차와 rms를 보면 표 1, 2과 같다. 표 1, 2에서 보는 바와 같이 한 개의 DEM 경우 때의 오차보다 두 개의 DEM을 융합한 DEM 경우의 오차가 적음을 보여준다. 굴곡이 많은 지형인 경우 각 Cross-correlation값을 비교하여 큰 값을 선택하는 방법이 좋은 결과를 보여주고 평지가 많은 지형에서는 평균을 한 것과 Cross-correlation값을 임계치 이상과 이하로 구분하여 계산한 결과가 좋다(임계치 : 0.8)

표 1 굴곡이 많은 지형에서의 다른 방법에 의한 두 개의 DEM융합 결과

	평균오차	rms	픽셀 수
기존의 한 개의 DEM경우	0.177393	0.000524	971201
그림6 (b) 경우	0.167219	0.000490	722785
그림6 (c) 경우	0.155162	0.000509	722785
그림6 (d) 경우	0.167519	0.000493	722785

표 2 평지가 많은 지형에서의 다른 방법에 의한 두 개의 DEM융합 결과

	평균오차	rms	픽셀 수
기존의 한 개의 DEM경우	0.071931	0.000084	1478006
그림7 (b) 경우	0.067157	0.000084	1340194
그림7 (c) 경우	0.068937	0.000085	1340194
그림7 (d) 경우	0.067157	0.000084	1340194

### 3. 결 론

실제 지형을 복원하기 위해서 필요한 DEM 영상과 Ortho-image가 있는데 이 DEM 영상의 정확도에 의해 실제 지형에 근접한 영상을 복원 할 수 있다. 본 논문에서는 기존의 방식으로부터 구하여진 DEM 하나로 실제 지형을 복원하는 것 보다 두 개의 DEM으로부터 생성된 DEM의 값이 Ground-Truth DEM 보다 오차가 적음을 볼 수 있다. 두 개의 DEM을 융합하는 여러 가지 방법 있으며 이러한 융합 방법 중에서도 Cross-Correlation 값을 비교하여 큰 값에 해당하는 DEM값을 취하여 만든 새 DEM의 결과가 가장 오차가 적음을 본문에서 보여준다. 결과적으로 Ground-Truth와의 오차에서 두 개로부터 생성된 새 DEM과의 오차가 한 개의 DEM과의 오차보다 적음을 알 수 있다.

### (참 고 문 헌)

- [1] Howard Schultz, Edward M. Riseman, Frank R. Stolle, Dong-Min Woo, "Error Detection and DEM Fusion Using Self-Consistency" 7th IEEE International Conference on Computer Vision 1999, Sept.
- [2] H. Schultz, "Terrain Reconstruction from Widely Separated Images", Proc. SPIE, Vol. 2486, pp. 113-123, 1995.
- [3] T. Kanade and M. Okutumi, "A Stereo matching algorithm with adaptive window: Theory and experiment", IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell., vol. 16, no. 8, pp. 920-932, 1994.
- [4] 우동민, "적용적인 스테레오 융합 기법에 의한 3차원 지형 복원", 대한 전기학회 논문집 47권 12호, pp. 2229-2236, 1998.
- [5] R. C. Gonzalez and R. E. Woods, "Digital image processing", Addison-Wesley Pub. Co, pp. 580-586, 1992.