

아리랑 1호 EOC영상에서 추출한 DEM의 정확도 향상을 위한 연구

임용조, 김태정

한국과학기술원 인공위성연구센터

305-701 대전광역시 유성구 구성동 373-1

TEL: 042-869-8634, 8606 Fax: 042-861-0064

{yjim, tjkim}@satrec.kaist.ac.kr

요 약

본 논문에서는 인공위성연구센터에서 수행한 아리랑 1호 EOC영상으로부터의 DEM 생성작업에 관하여 보고한다. EOC 영상으로부터 DEM을 생성하는 작업은 기존의 인공위성연구센터에서 SPOT영상으로부터 DEM 생성을 위하여 개발한 S/W를 이용하여 이루어졌다. 본 논문에서는 DEM생성작업을 크게 카메라 모델링 단계와 영상정합 단계로 구분하여 논의한다. 카메라 모델링 단계에서는 SPOT용으로 개발된 카메라 모델링 기술이 EOC 영상에 적용될 수 있는지를 검토한다. 영상정합 단계에서는 EOC 영상으로부터 가장 우수한 성능의 DEM을 추출하기 위한 영상 정합 파라미터를 추출해낸다. 각 단계별로 EOC 영상을 적용했을 때의 결과를 SPOT 영상을 적용했을 때의 결과와 비교한다. 카메라 모델링과 영상정합의 결과로 EOC 영상으로부터 생성한 DEM의 최종 높이 오차는 약 19m(RMS)로 나타났다. 결론으로 EOC로부터 생성한 DEM의 성능을 SPOT 영상으로부터 얻은 DEM의 성능과 비교하고 향후 EOC 영상으로부터 DEM 생성 작업의 실용화를 위해 필요한 추가 작업들을 기술한다.

1. 서 론

우리나라 최초의 실용급 지구관측 위성인 아리랑 1호가 한국항공우주연구원에 의하여 성공적으로 발사되었다. 아리랑 1호에 탑재되어 있는 EOC(Electro-Optical Camera)는 SPOT과 같이 선형 푸시브룸 방식이며 지상해상도가 약 6.6m이고 촬영폭이 약 17km이다. 또한 EOC는 비행방향의 직각방향으로 45도까지 물체를 기울여, 3차원지형정보 추출에 필요한 입체영상을 얻을 수 있다.

EOC 영상의 높은 해상도에 비하여

EOC 영상으로부터 3차원 지형정보(DEM)을 생성하는 작업을 실용화하기 위해서는 국내에서 보다 많은 연구가 필요한 듯 하다. 특히 EOC 위성영상에서 3차원지형정보 추출에 적용할 수 있는 카메라 모델이 무엇인지, 카메라 모델을 적용했을 경우 그 결과의 정확도가 어느 정도인지에 대한 검증이 선행되어야 한다.

본 논문에서는 대전지역을 촬영한 아리랑 1호 EOC 입체영상으로부터 DEM을 생성하는 실험을 수행하고 그 결과를 보고하고자 한다. EOC 영상으로부터 DEM을 생성하는 작업은 기존의 인공위성연구

센터에서 SPOT영상으로부터 DEM 생성을 위하여 개발한 S/W를 이용하여 이루어졌다[1]. 본 논문에서는 DEM 생성작업을 크게 카메라 모델링 단계와 영상정합 단계로 구분하여 논의한다.

카메라 모델링이란 촬영시의 영상좌표계 혹은 카메라 좌표계와 지표면과의 기하학적 관계를 복원하는 과정을 의미하며 카메라 모델링의 정확도에 따라 위성영상의 결과물에 직접적인 영향을 미친다. 이 단계에서는 Orun과 Natarajan[2]이 SPOT 영상용으로 제안한 카메라 모델링 기술이 EOC 영상에 적용될 수 있는지를 검토한다.

영상정합이란 좌우 입체영상에서 지상의 동일한 지점에 해당되는 영상 상용점쌍을 찾아내는 과정이다. 본 논문에서는 SPOT용으로 개발된 영상정합 S/W를 이용하여 EOC 영상의 정합을 위한 최적 정합 파라미터를 도출하고자 한다.

결론에서는 EOC로부터 생성한 DEM의 성능을 SPOT 영상으로부터 얻은 DEM의 성능과 비교하고 향후 EOC 영상으로부터 DEM 생성 작업의 실용화를 위해 필요한 추가 작업들을 기술한다.

본론으로 들어가기 앞서서 우선 다음 장에서는 EOC영상에서 DEM을 생성하고 이의 정확도를 검증하기 위해 수행한 연구방법에 대해서 간략히 설명한다.

2. 연구방법

Fig 2.1은 아리랑 EOC영상을 이용하여 카메라 모델링 기법 및 영상정합을 적용하여 EOC 스테레오 영상에서 DEM을 추출하고 이의 정확도를 검증하는 과정을 도식화한 것이다.

실험에 사용한 위성영상은 대전지역을 2000년 3월 9일(좌측영상)과 3월 1일(우측

영상)에 촬영한 EOC 스테레오영상이며 좌우측 영상의 촬영각도는 각각 동쪽방향으로 26도, 서쪽방향으로 4도이다.

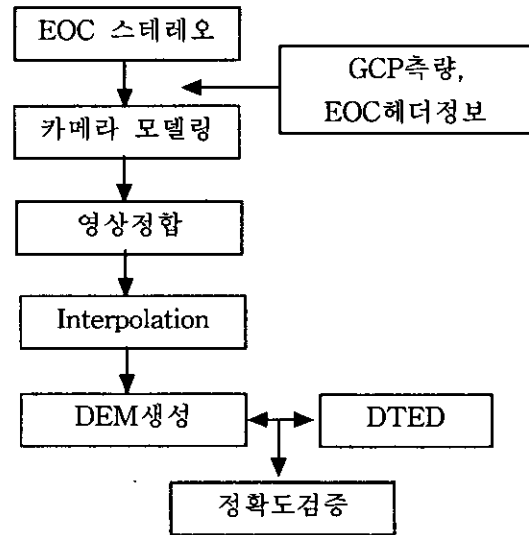


Fig 2.1 The flowchart for EOC DEM accuracy assessment

실험에 사용된 지상기준점은 DGPS 측량을 통해 얻어진 30개이며 지상기준점은 좌우영상 중에서 겹치는 영역에 대해서만 취득하였다. 좌우영상에서 서로 겹치는 부분만을 추출하여 실험에 사용된 지상기준점의 분포를 보이면 다음 Fig 2.2와 같다.

기준점들의 분포는 카메라 모델링의 정확도에 매우 중요한 영향을 준다. 카메라 모델링에 사용하는 지상기준점들의 분포는 가급적 널리 분포하여야 하며 영상의 네 모서리 부분에 최대한 근접시켰다.

카메라 모델링과 영상정합 후에 얻어지는 3차원 좌표값들로부터 DEM을 생성하기 위해서는 DEM생성에 Gaussian Interpolation 기법[3]을 적용하였으며 생성된 DEM을 미국 USGS의 3초 DTED와 비교하여 정확도를 검증하였다.

다음은 DEM 생성을 위하여 수행한 첫 번째 단계인 카메라 모델링에 관하여 설명

명한다.



Fig 2.2 Distribution of Ground Control Points

3. 카메라 모델링(Camer Modelling)

본 연구에서 사용한 카메라 모델은 Orun과 Natarajan이 제시한 방법[2]으로 Pitch와 roll 각, 즉 ϕ , ω 는 시간에 대하여 변하지 않는 상수값으로 놓고 나머지 4개의 변수를 다음과 같은 시간에 대한 2차식으로 모델링하였다.

$$\begin{aligned} X_s &= X_o + a_1t + b_1t^2 \\ Y_s &= Y_o + a_2t + b_2t^2 \\ Z_s &= Z_o + a_3t + b_3t^2 \\ k &= k_o + a_4t + b_4t^2 \end{aligned}$$

이 방법은 SPOT 위성의 독특한 촬영방식에 최적화하여 개발된 방법이며 이 방법을 사용하기 위해서는 위성체의 Ephemeris Data를 사용하여야 한다. 본 실험에서는 이 방법이 EOC 영상에도 적

용될 수 있는 지를 중점으로 실험하였으며 실험에 필요한 Ephemeris Data는 한국항공우주연구소에서 제공한 데이터를 사용하였다.

우선 Orun-Natarajan 방식을 EOC 영상에 적용했을때의 정확도 및 신뢰도를 알아보기 위하여 총 30개의 지상기준점 중에서 N개를 이용하여 카메라 모델링을 수행하고 나머지 30-N개를 수립된 카메라 모델링의 성능 검사에 사용하는 실험을 반복하였다[4]. 즉 카메라 모델링에 사용한 지상기준점 수를 6점부터 1점씩 증가하여 카메라 모델링의 모델점 에러와 검사점 에러를 조사하였다. 각각의 지상기준점 수에 대한 모델점 및 검사점 에러를 Table 3.1과 Fig 3.1에 정리하였다.

Table 3.1과 Fig 3.1에서 보는 바와 같이 Orun-Natarajan 모델을 EOC 위성영상에 적용했을 경우 최소기준점이 6개를 사용하여도 1픽셀이내의 위치정확도를 가짐을 볼 수 있다. 그리고 모델점의 수가 증가함에 따라 모델링 에러는 상승하고 검사점 에러는 감소하는 양상을 나타내었다. 대략 20개의 GCP를 모델링으로 사용할 경우 모델점 에러가 어느 정도 수렴하는 것을 알 수 있었다.

이와 같은 양상은 참고문헌[4]에 기록된 바와 같이 SPOT 위성영상을 이용하여 실험하였을 경우에도 동일하게 발생되었다. 또한 EOC 영상을 이용한 카메라 모델의 정확도는 약 0.7 ~ 0.9 픽셀로 SPOT 영상과 비교하여 동일한 결과를 보였다. (실제 EOC 영상에서 에러값이 참고문헌[4]의 SPOT영상에서의 에러값보다 다소 적은 것은 EOC 영상의 촬영폭이 SPOT보다 작으며 실험에 사용한 영역은 EOC 영상의 촬영폭의 일부이기 때문으로 사료된다.)

본 실험의 결과, 아리랑 1호 EOC 위성영상의 카메라 모델링을 위하여

Orun-Natarajan 모델을 사용할 수 있으며 이때 필요한 Ephemeris Data는 EOC 영상과 같이 제공되는 데이터를 사용할 수 있음을 알 수 있다. 그러나 정확한 검증을 위해서는 보다 많은 영상을 이용한 추가 실험이 필요함을 주지하는 바이다.

Table 3.1 Performance of the Orun&Natarajan model

지상기준점		좌측영상		우측영상	
모델점 개수	검사점 개수	모델링 에러	검사점 에러	모델링 에러	모델점 에러
6	24	N/A	0.965	N/A	1.542
7	23	0.374	0.982	0.314	1.512
8	22	0.399	0.902	0.519	0.929
9	21	0.394	0.922	0.502	0.945
10	20	0.543	0.847	0.548	0.958
11	19	0.611	0.826	0.548	0.978
12	18	0.613	0.831	0.636	0.976
13	17	0.662	0.812	0.645	0.993
14	16	0.646	0.829	0.672	0.979
15	15	0.626	0.854	0.684	0.984
16	14	0.633	0.862	0.677	1.022
17	13	0.640	0.875	0.787	0.940
18	12	0.647	0.928	0.777	0.924
19	11	0.664	0.926	0.797	0.898
20	10	0.735	0.751	0.821	0.858
21	9	0.728	0.743	0.833	0.782
22	8	0.719	0.770	0.861	0.679
23	7	0.706	0.810	0.844	0.711
24	6	0.703	0.830	0.845	0.675
25	5	0.728	0.686	0.833	0.682
26	4	0.731	0.635	0.828	0.668
27	3	0.735	0.544	0.823	0.625
28	2	0.736	0.355	0.823	0.419
29	1	0.723	0.494	0.815	0.166
30	0	0.716	N/A	0.802	N/A

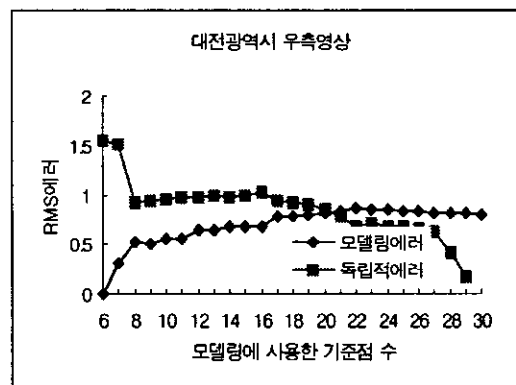
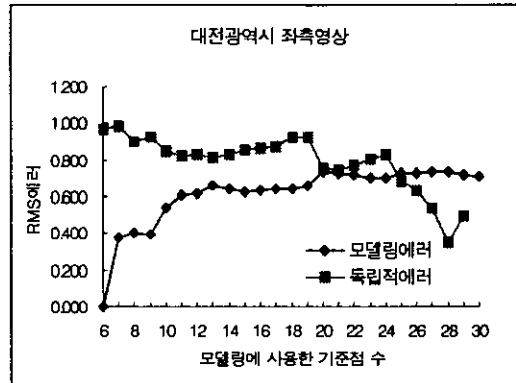


Fig 3.1 Performance of the Orun and Natarajan Model

4. 영상정합(Stereo-matching)

영상정합은 좌우 입체영상으로부터 3차원 공간상의 동일한 점을 나타내는 영상 상용점쌍(Conjugate Points)을 찾는 과정으로 반드시 이 과정을 거쳐야만 입체영상으로부터 3차원지형정보의 추출이 가능하다.

실험에 사용한 영상정합 S/W는 인공위성연구센터에서 자체개발하여 SPOT 위성영상에 성공적으로 적용한 바 있는 S/W를 사용하였다[1]. 이 알고리즘은 선형 푸시브룸 방식으로 촬영된 좌우 위성영상에서 쌍곡선 형태로 표현되는 Epipolarity

특성곡선 상의 각 점들 간의 정규화된 상관계수를 구하고 이중 최고치를 상응점쌍으로 결정하는 기법이다[1].

이 정합 알고리즘에 영향을 주는 여러 요소 중에서 본 연구에서는 상관계수를 구하기 위하여 좌우 영상의 각 대상점에 정의하는 패치(또는 윈도우)의 크기가 영상정합 및 DEM의 성능에 미치는 영향을 조사하였다. 이밖의 다른 요소들에 대해서도 추후에 연구가 필요할 것으로 생각된다.

패치 크기가 정합에 미치는 영향을 알아보기 위하여 15픽셀부터 30픽셀까지 패치 크기를 늘려가며 영상정합을 수행하였고 얻어진 결과물로부터 DEM을 생성하여 이를 USGS에서 제작한 DTED와 비교하여 정확도를 분석하였다. 또한 정합에 소요된 시간 및 성공적으로 정합된 정합점 수도 패치 크기에 따른 영상정합의 성능 분석에 사용하였다.

Table 4.1은 여러 가지 패치 크기에 대한 DEM의 정확도 (RMS 에러), 속도 및 매칭점 수(Coverage)를 도표화한 것이다. 먼저 DEM의 정확도를 살펴보면 패치의 크기가 21픽셀 이상인 경우는 점차적으로 에러가 증가함을 알 수 있었다. 정합에 소요된 시간도 패치의 크기가 커짐에 따라서 늘어났다. 표에서 패치 크기가 4의 배수로 증가할 때마다 수행시간이 큰 폭으로 증가하는 것은 실험에 사용한 알고리즘이 구현된 특성 때문이다.

정합점 수는 대부분의 경우 비슷하게 나타났으나 유독 패치의 크기가 17픽셀인 경우에는 정합점의 수가 적었다. 이 원인에 대해서는 추후에 상세한 분석이 필요하리라고 본다. 실험 결과, EOC 영상으로부터 DEM을 생성하기 위해서는 대략 15~20픽셀 크기의 패치를 사용할 수 있는 것으로 판별되었다 (17픽셀에서 발생한 특

이성을 무시할 경우). 최적의 패치 크기값은 입체영상의 대상지역의 특성에 따라서 다소 바뀔 수 있다. 그러나 실험에 사용한 영상이 도심지역 뿐만 아니라 산악, 호수 지역을 고루 포함하고 있으므로 다른 지역 EOC영상에서도 위에서 제시한 범위가 크게 어긋나지 않을 것으로 기대하나, 이의 검증은 추후에 수행할 예정이다. 또한 14픽셀 이하 크기의 패치를 이용한 실험은 추후에 수행할 예정이다.

Table 4.1 RMS and processing time by the patch size

패치 크기	DEM오차(RMS)	프로세싱 시간(min)	매칭포인트 개수
15	18.68	5.45	297062
16	18.62	5.47	297100
17	17.65	7.65	257575
18	18.81	7.65	295187
19	18.51	7.64	287097
20	18.76	7.64	294980
21	19.46	10.40	294241
22	19.42	10.41	294250
23	18.88	10.41	294250
24	18.34	10.44	294322
25	21.85	13.72	293158
26	21.84	13.79	292954
27	21.84	13.71	292954
28	21.86	13.76	293026
29	23.74	17.60	291896
30	23.74	22.90	291756

그림 Fig 3.1은 패치의 크기를 20픽셀로 하였을 경우의 생성된 DEM이다. 그림에서 어둡게 나타난 부분이 고도가 낮은 지역이다. Ascending 궤도로 영상을 촬영하는 아리랑 1호기의 특성상 DEM은 왼쪽으로 기울어져 있다. 오른쪽 상하단에 동그라미로 표시된 부분은 대청호로 실험에 사용한 알고리즘은 수면에 해당하는 영상

점은 정합을 하지 않으므로 검게 나타났다. 육안으로 DEM의 성능을 판별하기는 무리가 있으나 산등성이, 계곡, 구릉지대, 호수지역 등이 모두 올바르게 나타났음을 확인할 수 있다.



Fig 3.1 Digital Elevation Model

5. 고찰

본 연구에서는 과거 SPOT 영상으로부터 DEM을 생성하기 위하여 개발된 S/W를 이용하여 아리랑 1호 EOC 위성영상으로부터 DEM을 생성하는 실험을 수행하였다. 실험결과 약 19m의 에러(RMS)를 가지는 DEM을 생성할 수 있었다. 이 실험을 통해 본 논문에서는 비록 아리랑 1호의 영상취득 방식이 SPOT과는 상이하나 SPOT 위성용으로 개발된 카메라 모델 기법을 EOC 영상에도 적용할 수 있음을 보였다. 또한 EOC 영상과 함께 제공되는 Ephemeris Data가 DEM 생성에 사용될 수 있음을 보였다.

또한 본 논문에서는 실험을 통하여 정규화된 상관계수를 이용하는 영상정합 알고리즘의 최적 패치크기를 산출하였다. 그러나 최적 패치크기에 대한 보다 일반화

된 결론을 도출하기 위해서는 더 많은 실험이 필요하다.

결과적으로 EOC 영상으로부터 생성된 DEM의 정확도는 약 19m 에러(RMS) 내외였다. 동일한 S/W를 이용하여 SPOT 영상에서 생성한 DEM의 정확도는 대개 20~30m 에러(RMS)였다. SPOT의 경우와 비교하면 수치적으로는 EOC에서 얻은 DEM이 다소 우수하나 해상도 차이를 고려한다면 EOC에서 얻은 DEM의 성능이 유사한 결과이다. 그러나 SPOT과 EOC영상 간의 비교를 위해서는 보다 많은 EOC영상을 이용한 실험이 수행되어야 할 필요가 있다고 사료된다.

사 사

대전지역 EOC위성영상을 제공해준 한국항공우주연구원과 지상기준점 측량을 수행한 이엔지정보기술(주)의 도움에 감사드립니다.

[참고문헌]

1. Satellite Image Processing Software for Value-Added Products, Hae Yeoun Lee, Wonkyu Park, S.A.B Kim, Taejung Kim, Taehun Yoon, Dongseok Shin, Heungkyu Lee, Korean Remote Sensing Journal, 15(4):339-348, 1999
2. Orun, A.B. and K.Natarajan, 1994, "A Modified Bundle Adjustment Software for SPOT Imagery and Photography: Tradeoff", *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 60(12):1431-1437
3. An Optimal Interpolation Scheme for Producing a DEM from the Automated Stereo-Matching of Full-Scale SPOT Images, Seungbum Kim, Taejung Kim, Wonkyu Park, Heung-Kyu Lee, Proceedings of ISPRS conference on Sensors and Mapping from Space 1999, September, 1999, Hanover, Germany
4. 김태정, 김승범, 신동석, 2000, 대표적 위성 영상 카메라 모델링 알고리즘들의 비교연구, 대한원격탐사학회지, 16(1):73-86