

정지궤도 기상위성의 자동기하보정

김현숙[†] · 이태윤 · 허동석 · 이수암 · 김태정
인하대학교 지리정보공학과

Automated Geometric Correction of Geostationary Weather Satellite Images

Hyunsuk Kim[†], Tae-Yoon Lee, Dongseok Hur, Sooahm Rhee, and Taejung Kim

Department of Geoinformatic Engineering, Inha University

Abstract : The first Korean geostationary weather satellite, Communications, Oceanography and Meteorology Satellite (COMS) will be launched in 2008. The ground station for COMS needs to perform geometric correction to improve accuracy of satellite image data and to broadcast geometrically corrected images to users within 30 minutes after image acquisition. For such a requirement, we developed automated and fast geometric correction techniques.

For this, we generated control points automatically by matching images against coastline data and by applying a robust estimation called RANSAC. We used GSHHS (Global Self-consistent Hierarchical High-resolution Shoreline) shoreline database to construct 211 landmark chips. We detected clouds within the image and applied matching to cloud-free sub images. When matching visible channels, we selected sub images located in day-time. We tested the algorithm with GOES-9 images. Control points were generated by matching channel 1 and channel 2 images of GOES against the 211 landmark chips. The RANSAC correctly removed outliers from being selected as control points. The accuracy of sensor models established using the automated control points were in the range of 1~2 pixels. Geometric correction was performed and the performance was visually inspected by projecting coastline onto the geometrically corrected images. The total processing time for matching, RANSAC and geometric correction was around 4 minutes.

Key Words : cloud detection, sensor model, the resampled images, the automated control point generation, geometric correction, RANSAC, GSHHS, Landmark Chip.

요약 : 2008년 12월 우리나라 최초의 통신해양기상위성이 발사될 예정이다. 통신해양기상위성의 지상국은 위성영상 데이터의 정확도 향상을 위해 사용자에게 기하보정된 영상을 공급해야 한다. 이때 지상국에서 요구되는 처리시간은 30분 내외이며, 전체 처리시간의 준수를 위해 자동기하보정의 기술개발과 기하보정시 수행시간의 효율성이 중요하다. 자동기하보정은 위성의 영상좌표계와 지구좌표계상의 수학적 관계를 나타내는 센서모델을 자동으로 수립하여 기하보정을 수행하는 것이다. 센서모델 수립을 위해 사용되는 기준점은 위성영상과 랜드마크 칩간의 정합결과를 통해서 자동으로 결정되었다. 실험에 사용한 위성영상은 GOES-9영상이며 실험을 위해 전세계 해안선 데이터베이스를 사용하여 랜드마크 칩을 211개 생성하였다.

위성영상에 존재하는 구름은 위성영상과 랜드마크 칩간의 정합시 오정합을 유발하므로 GOES-9영상의 채널1과 채널2영상에서 구름검출을 수행하여 구름이 아닌 지역에 대해서만 정합을 수행하였으며 가시영상인 채널1영상에서 밤시간이 아닌 지역에 대해서만 정합이 수행될 수 있도록 밤낮을 구분하여 처리하였다. 이때 정합결과는 오정합(Outlier)이 포함되어 있어 강인추정기법 중 하나인 RANSAC을 사용하여 이를 제거하였다. 강인추정기법으로 오정합이 제거된 정합결과를 기준으로 사용하여 센서모델을 수립하였다. 수립된 모델의 정확도는 채널1영상의 해상도를 기준으로 하였을 때 1~2 픽셀의 에러가 나타났고 기하보정된 영상에 해안선을 투영하여 센서모델의 정확도를 육안으로 확인하였다. 이때 위성영상의 해안선과 투영된 해안선이 일치함으로써 기하보정이 잘 이뤄졌음을 알 수 있었다. 실험결과 정합과 RANSAC, 센서모델 수립 및 자동기하보정의 전체 처리시간은 약 4분여가 소요되었다. 이로써 본 논문에서 제안된 자동기하보정방법은 기하보정이 효과적으로 이뤄지고 있으며, 또한 통신해양기상위성의 전처리요구시간에도 만족함을 보여주고 있다.

1. 서론

2008년 12월 우리나라 최초의 기상위성인 통신해양기상위성(Communications, Oceanography and Meteorology Satellite, COMS)이 발사될 예정이다. 이 위성은 정지궤도 상에 위치 할 예정이며, 실시간으로 지구를 관측하여 전지구적인 영상을 제공한다. 기상위성의 영상데이터는 정확한 기상정보를 사용자에게 제공하기 위하여 위성영상의 기하학적 왜곡이 보정되어야 한다. 이를 위해서 정지궤도 기상위성 영상의 자동기하보정 기술이 필요하다.

정지궤도상에 위치하는 GOES-9(Kamel, 1996; Kelly and Hudson, 1996), MTSAT-1R 등의 기상위성은 자동기하보정을 위해 일반적으로 영상항법¹⁾(Image Navigation)을 사용한다. Image Navigation은 영상을 이용하여 위성의 자세를 결정하고 예측하여, 위성영상의 기하학적 왜곡을 보정하는 과정이며(이태윤 외, 2005; 허동석 외, 2006; Kamel, 1996) 우리나라의 통신해양기상위성도 자동기하보정을 위해 Image Navigation을 사용할 예정이다.

본 연구의 궁극적인 목표는 통신해양기상위성의 자동기하보정을 위한 기술 개발이다. 특히 이 기술은 원사자료로부터 얻을 수 있는 정보의 정확성과 신뢰성에 영향을 줄 수 있으며, 신속한 자료 처리 및 배포에도 영향을 줄 수 있으므로 반드시 확보되어야 할 핵심적인 기술 요소이다. 본 연구에서는 이 기술을 크게 랜드마크 칩 추출, 구축된 랜드마크와 위성영상간의 자동정합, 정합 결과로부터 오정합을 자동으로 검출하기 위한 강인추정기법, 이를 통해 얻어진 기준점을 이용한 자동기하보정

등의 네 단계로 구분하였다. 일반적으로 랜드마크 칩은 전세계적인 해안선 데이터베이스를 사용하여 위성영상과의 정합을 위해 추출한 후보지역을 의미한다. 본 연구에서는 랜드마크 칩 구축을 위하여 GSHHS (Global Self-consistent Hierarchical High-resolution Shoreline) 해안선 데이터베이스를 사용하였고 GOES-9의 위성위치를 반영하여 총 211개를 구축하였다. 위성영상과 랜드마크 칩간의 정합은 랜드마크 칩에 대응되는 해당 영상의 해안선을 중심으로 수행된다.

본 연구를 위하여 GOES-9 위성영상의 원시데이터를 사용하였다. GOES-9위성은 가시영역(채널1), 단파(채널2), 장파(채널4, 5), 수증기(채널3)의 5개의 채널이 획득되며, 랜드마크 칩과의 정합을 위해 채널1영상과 채널2영상을 사용하였다. 이 중 채널1영상은 밤시간에는 해안선을 식별할 수 없으므로, 밤낮을 구분하여 낮 영상만을 정합하였고 채널2영상은 밤낮의 구분이 없으므로 모든 영역을 정합에 사용하였다. 그러나 구름에 가려진 위성영상은 오정합의 원인이 되므로 채널1, 2에서 모두 구름지역을 추출하여 구름이 아닌 곳에서만 정합이 수행되도록 하였다.

정합결과는 항상 오정합(Outlier)과 참정합(Inlier)이 포함되어있다. 여기서 오정합은 랜드마크 칩과 위성영상의 해안선이 일치하지 않는 정합결과이며 참정합은 랜드마크 칩과 위성영상의 해안선이 일치하는 정합결과이다. 본 연구에서는 오정합을 자동으로 검출하기 위해 강인추정기법 중 하나인 RANSAC (Random Sample

1) 영상위치결정(기상청), 영상위치보정, Image Navigation and Registration

Consensus)을 사용하였다 (Fischler *et al.*, 1981; Kim *et al.*, 2003). 실험결과 RANSAC을 사용하여 자동으로 참정합만을 기준점으로 추출하고, 추출된 기준점들을 사용하여 위성영상의 정밀한 센서모델을 수립하여 위성영상의 기하학적인 왜곡 보정을 수행하였다. 이때 수립된 센서모델의 정확도는 센서모델의 에러율로 판단하며, 모델 수립에 사용된 기준점들의 정확도의 여부도 알 수 있다.

통신해양기상위성의 지상국은 자동으로 기하보정된 위성정보를 사용자에게 실시간으로 공급해야 된다. 이때 지상국에서 요구되는 처리시간은 30분 내외이며 자동기하보정의 전체 처리시간의 준수가 요구된다.

2. 랜드마크 칩 구축

본 연구에서 사용한 GSHHS 해안선 데이터베이스는 WDBII (World Data Bank II)와 WVS (World Vector Shoreline)의 데이터를 혼합한 것이다(Wessel and Smith, 1996). GSHHS 해안선 데이터베이스는 각기 다른 해상도를 가진 데이터들로 구성된다. GSHHS 해안선 데이터베이스는 188,628개의 폴리곤으로 구성되어 있으며, 10,222,509개의 점들로 구성된다. GSHHS 데이터 중 가장 해상도 높은 0.1Km²해상도 데이터를 사용하여(Fig. 1) 채널1영상과 채널2영상의 해상도를 고려한 2가지 종류의 랜드마크 칩들을 구축하였다.

Fig. 2는 GOES-9위성의 위치(동경 155도)를 반영하

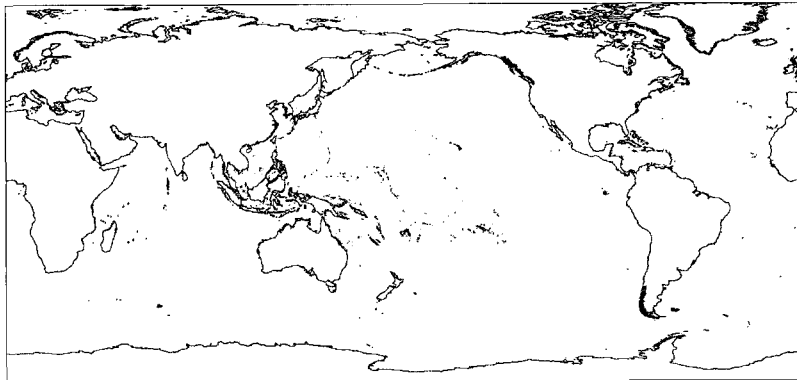


Fig. 1. Used in Coastline Database this study.

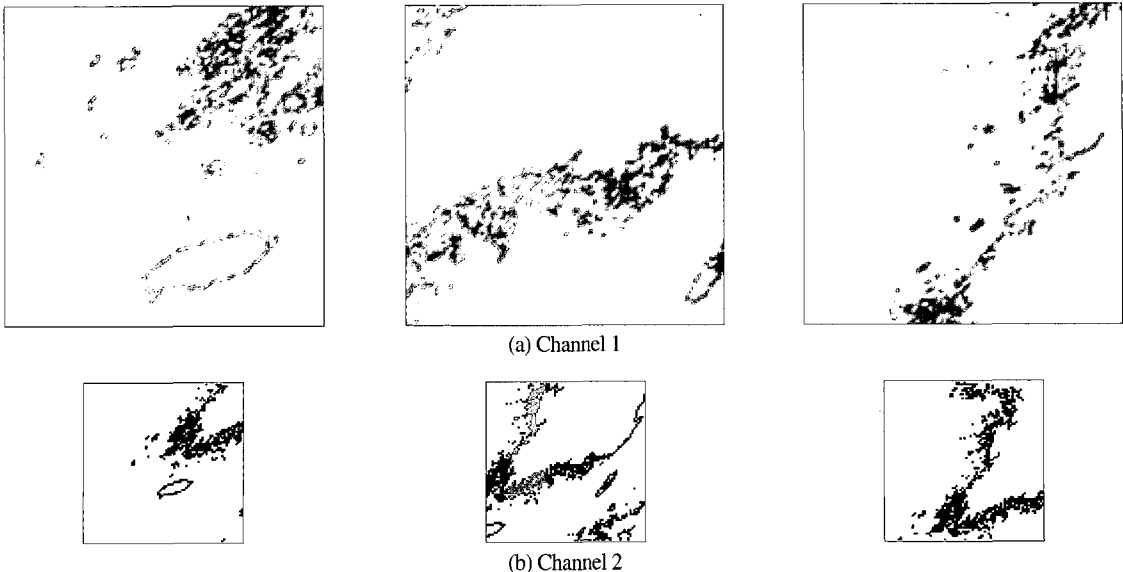


Fig. 2. Landmark Chips projecting satellite position of GOES-9 for channel 1 and 2.

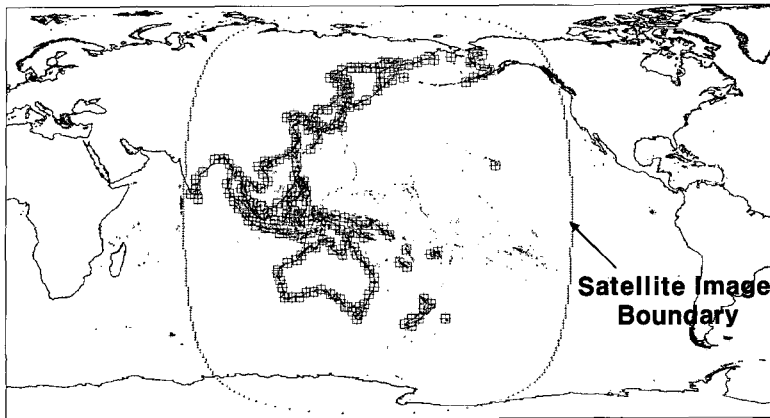


Fig. 3. The location of the 211 Landmark Chips generated.

여 구축된 채널1영상과 채널2영상 용 랜드마크 칩들을 보여준다. 위성영상의 해상도가 1Km인 채널1 영상의 경우 랜드마크 칩은 160×160 픽셀의 크기를 갖고, 해상도가 4Km인 채널2 영상의 경우 랜드마크 칩은 80×80 픽셀의 크기를 갖도록 생성하였다.

Fig. 3은 GOES-9의 위치를 중심으로 구축된 211개의 랜드마크 칩들의 위치를 나타낸다. 이때 나타나는 랜드마크 칩 주위의 경계선은 GOES-9 위성영상의 범위를 나타낸다.

3. 자동 정합

1) 탐색 윈도우 생성

위성영상과 랜드마크 칩간의 정합을 위해 위성영상에서 랜드마크 칩에 대응되는 지역의 탐색 윈도우를 생성하는 과정이 필요하다.

탐색 윈도우 생성을 위해 먼저, GOES-9의 초기 센서모델(GOES-9 Initial Sensor Model)을 수립하고, 수립된 센서모델을 사용하여 랜드마크 칩의 중심 위치에 대응되는 GOES-9 영상에서 같은 위치를 계산한다(이태운 외, 2005; 허동석 외, 2006; NOAA/NESDIS, 1998). 마지막으로 GOES-9 위성영상에서 계산된 위치를 중심으로 탐색 윈도우를 생성한다.

실험에 사용한 채널1영상의 탐색 윈도우의 크기는 180×180픽셀이며, 채널 2영상의 탐색 윈도우의 크기는 160×160픽셀이다. 이는 랜드마크와 탐색윈도우를 정합할 때 랜드마크의 크기와 탐색윈도우의 크기를 변

화시켜 정합에 수행되는 시간과 결과를 실험을 바탕으로 최적의 크기를 얻은 것이다.

생성된 탐색 윈도우에서 구름을 검출하고, 구름의 영향이 미치지 않는 지역에 대해서 위성영상의 해안선과 랜드마크 칩의 해안선의 정합이 잘 이뤄지도록 영상을 예지 추출한다. 이 과정을 거친 탐색 윈도우와 랜드마크 칩간의 정합이 자동으로 수행된다. 채널1영상은 밤과 낮의 구분이 명확하기 때문에 추출된 탐색 윈도우의 현지 시간(Local Time)을 적용하여 밤 시간에 해당되는 지역을 제외한 낮 시간의 영상에서만 정합이 이뤄지도록 수행하였다. 구름추출은 다음절에서 자세히 설명하고, 채널1영상의 밤낮구분은 다음의 “가시영상의 정합”에서 자세히 설명하도록 하겠다.

2) 구름 검출

정지궤도 기상위성 영상은 낮은 공간해상도(1Km, 4Km)를 갖기 때문에 지표면 상에 존재하는 건물, 산림, 하천 등의 인공지물과 자연지물 등을 육안으로 구별하기가 어렵지만 해안선으로 구분되는 대륙과 바다 등은 육안으로 식별할 수 있다. 위성영상에서 해안선 추출은 자동기준점 생성을 위한 정합의 성공률에도 영향을 주며, 정확한 기준점 추출을 위해서도 중요하다(이태운 외, 2005; 허동석 외, 2006).

해안선을 추출하는데 가장 큰 영향을 주는 것은 구름이다. 이에 구름 등과 같은 기상요소로부터 방해되지 않는 해안선 확보를 위하여 정합을 수행하기 전에 구름을 검출하고 이를 제거해야 한다. 이 논문에서 제안하는 구름 검출은 Fig. 4와 같은 과정으로 수행된다.

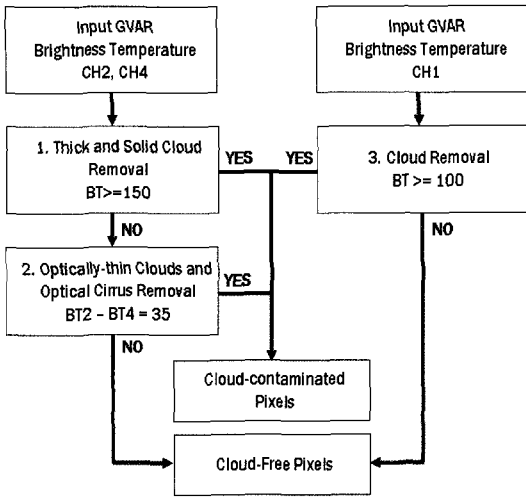


Fig. 4. Cloud Detection Algorithm.

Fig. 4에서 제안된 알고리즘은 채널2영상과 채널4영상을 사용하여 채널2영상에서 구름을 검출한다. 제안된 구름검출 알고리즘은 전체 3단계로 구성되어 있으며, 각 단계는 다음과 같다. 1단계는 육안으로도 확실하게 구분되는 구름을 검출하는 것으로 채널2영상에서 한 픽셀의 밝기값 온도(BT, Brightness Temperature)가 임계값 150보다 클 경우 구름으로 검출한다. 이때 임계값 150은 겨울철 북동 아시아 지역(시베리아)의 특정 밝기값을 고려하여 산출한 것으로, 시베리아 지역의 경우, 겨울철 대륙의 온도가 상당히 낮아 구름의 밝기값 온도와 거의 차이가 없기 때문이다. 2단계는 육안으로도 구름인지 해안선인지 구분이 모호한 얇은 구름, 권운, Cloud Edge 등을 검출한다. 이를 위해서 채널2와 4의 픽셀의 밝기값의 차이가 35이상일 때를 구름으로 판단하여 제거한다(Chen et al., 2002). 3단계는 1단계와 2단계 과정에서 얻어진 칩들만 수행되는 단계이다. 1단

Table 1. Results of Cloud Detection.

Scene ID	Cloud-free Chips		Cloudy Chips	
	Channel 1	Channel 2	Channel 1	Channel 2
2004. 04. 21. 01:25:00	66	84	6	127
2004. 10. 21. 19:25:00	0	121	0	90
2004. 12. 19. 00:25:00	47	70	4	141
2005. 01. 15. 06:25:00	45	49	4	162

계와 2단계를 거친 나머지 칩들에 대해 칩 전체의 크기에서 구름이 차지하는 비율이 20%이상일 경우 구름으로 검출되어 정합을 수행하지 않고 20%이하의 경우에만 정합을 실시한다.

채널1영상의 구름검출은 영상의 밝기값으로 그 지역이 구름인지 아닌지의 여부를 판단한다. 구름의 판단여부는 임계값을 변화시키는 실험을 통하여 최종적으로 얻은 임계값 100을 사용한다. 구름의 밝기값이 다른 지역에 비해 밝게 나타나는 지역이 있어도 얇은 구름층 등의 영향으로 인해 육지와 구름의 밝기값의 차이 등의 변수를 무시할 수 없기 때문이다(Shin, 1996). 다음의 Table 1은 구름을 검출한 실험 결과를 나타낸다. 즉, 첫번째 영상에서 채널2의 경우, 구축된 랜드마크 칩 211개에 해당하는 영상 영역 중 구름 검출 알고리즘을 통해서 구름으로 판명된 지역은 127개, 구름이 아닌 지역은 84개의 지역으로 나타났다. 가시영상인 채널1의 경우 채널2에서 구름이 아닌 지역으로 판명된 지역 중 낮 지역에 대해서만 구름검출을 실시한 결과이다. 첫번째 영상의 경우는 구름이 없는 채널2의 84개 지역 중 낮 지역인 72개 지역에 대해서 구름을 검출한 결과, 추가로 6개 지역이 구름으로 판명되었다. 두번째 영상의 경우는 채널1영상이 모두 밤으로 판명되어 채널1의 실험결과가 모두 0으로 나타났다.

다음의 Fig. 5는 채널2 위성영상과 위에서 언급한 구

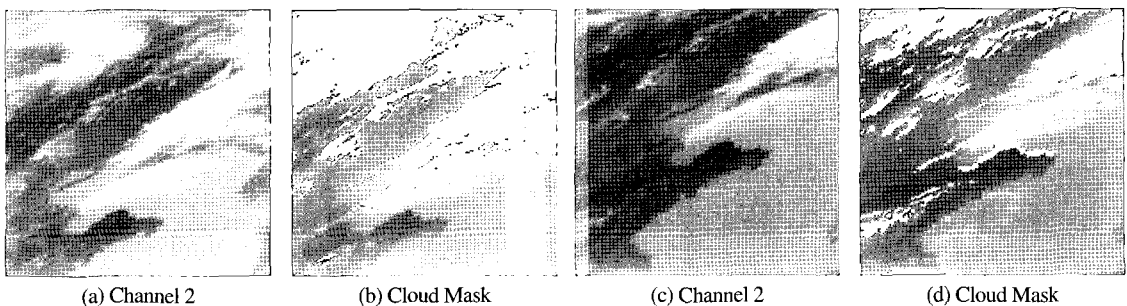


Fig. 5. Detecting Cloud Mask.

름 검출 알고리즘을 통하여 생성된 구름 마스크를 보여 주고 있다.

3) 채널 2 정합

채널2영상의 정합은 채널2영상에서 생성된 탐색 윈도우에서 구름 검출 후 구름의 영향이 미치지 않는 지역에 대해서 정합을 수행한다. 이때 해안선을 추출하기 위하여 여러 크기에 마스크를 사용하였으나 실험결과 생성된 탐색윈도우에 3×3 마스크 크기의 소벨 필터를 적용하여 해안선 에지를 추출한 결과 해안선 에지가 잘 추출되었다. 이때 해안선 에지를 추출하는데 최적의 임계값을 얻기위하여 임계값을 다양하게 하여 실험하였는데 이때 최적의 임계값은 30으로 나타났다. 해안선이 추출된 영상과 랜드마크 칩간의 정합을 수행하기 위하여 본 연구에서는 ZNCC (the Zero mean Normalized Cross-Correlation) 알고리즘을 사용하였다(이태운 외, 2005).

수식 (1)에서 O는 기준 영상인 랜드마크 칩이고, S는

GOES-9영상의 탐색 윈도우이다. 여기서 n은 기준영상의 전체 픽셀의 수를 나타낸다. 다음의 Fig. 6은 채널 2의 정합결과이다.

$$\frac{\sum(O S) - (\sum O \sum S) / n}{\sqrt{(\sum(O)^2 - (\sum(O)^2 / n))(\sum(S)^2 - (\sum(S)^2 / n))}} \quad (1)$$

4) 채널1 정합

GOES-9의 채널1영상의 해상도는 1Km이고 채널2영상의 해상도는 4Km이며, 따라서 단순하게 계산하면 채널1영상의 정합에 소요되는 시간은 채널2영상의 정합에 소요되는 시간보다 4배정도 더 소요될 수도 있다. 따라서 채널1영상의 정합에 소요되는 시간의 효율성을 높이기 위해 채널1영상의 특징을 이용하여 영상에서 밤과 낮의 시간을 구분하여 밤 시간에 해당하는 지역은 정합을 수행하지 않는다.

밤낮을 구분하기 위해 UTC (Universal Time

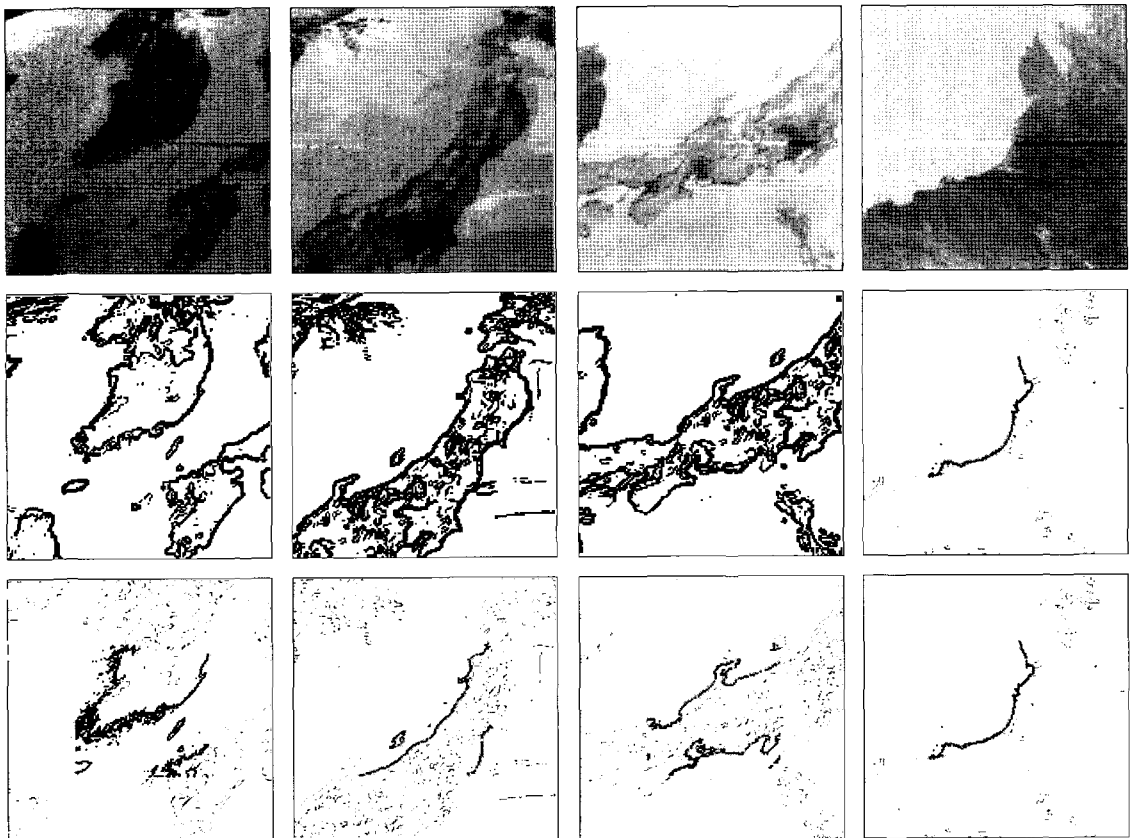
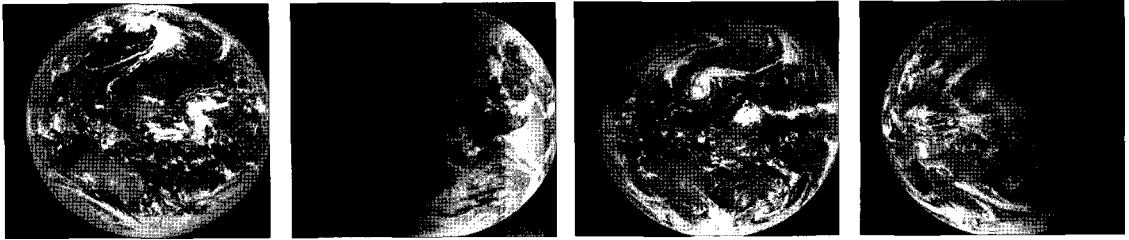


Fig. 6. Channel 2 Matching Results
(Top) Channel 2 Images, (Middle) Sobel Filtered Images, (Bottom) Matching Results.



(a) 2004.04.21.01:25 (b) 2004.10.12.19:25 (c) 2004.12.19.00:25 (d) 2005.01.15.06:25

Fig. 7. Visible Images(Channel 1) used for the Day and Night Definition.

Coordinated)로 제공된 위성영상의 획득시간을 사용하여 위성의 궤도상의 위치를 기준으로 현지 시간을 계산한다. 계산된 현지 시간을 기준으로 탐색 윈도우의 경도에 따른 현지 시간을 계산한다. 각각의 계산된 탐색 윈도우들의 현지 시간이 낮으로 정의된 6시부터 18시내에 포함될 때만 정합을 수행한다. Fig. 7은 실험에 사용한 GOES-9 위성영상의 채널 1영상이다.

구름 검출에 사용한 4개의 영상에서 밤과 낮을 구분

Table 2. The Day and Night Definition Results.

Acquisition Time (UTC)	No of Chips in Daytime (total chips considered)
2004.04.21. 01:25:00	72(84)
2004.10.21. 19:25:00	0(121)
2004.12.19. 00:25:00	51(70)
2005.01.15. 06:25:00	49(49)

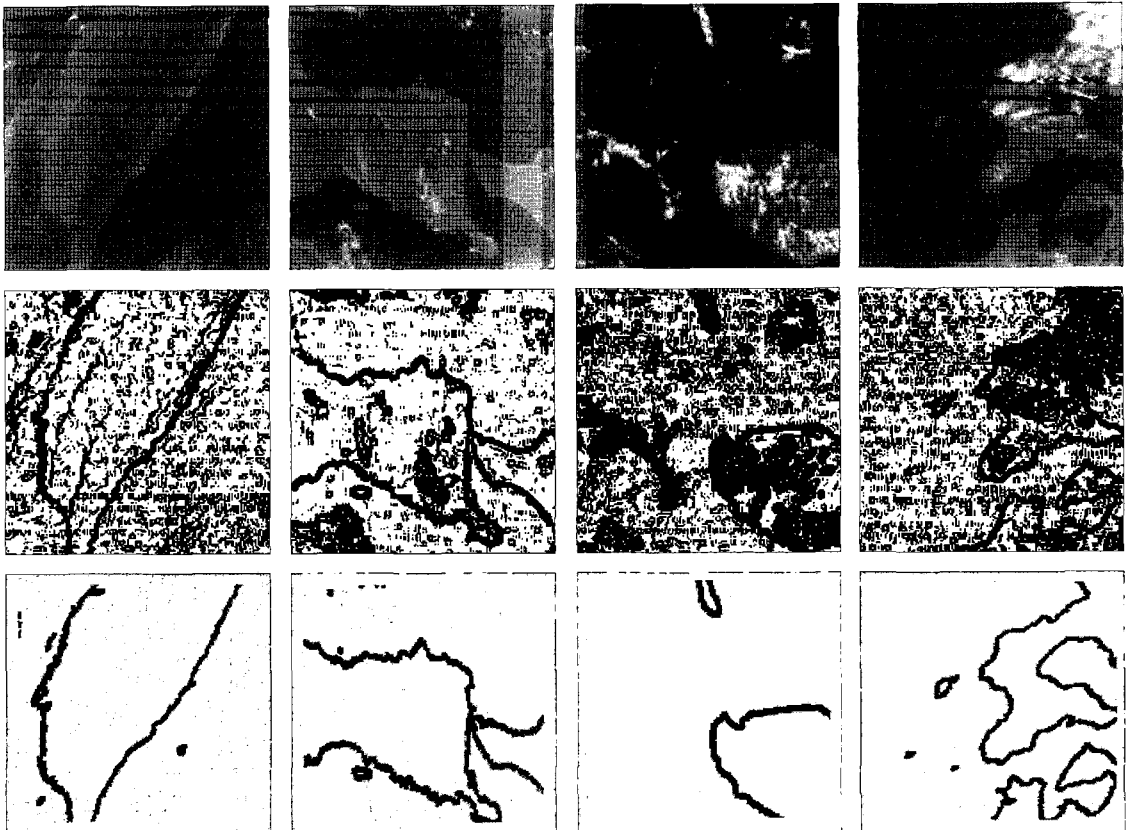


Fig. 8. Channel 1 Matching Results

(Top) Channel 1 Images, (Middle) Sobel Filter Results, (Bottom) Matching Results.

한 실험 결과는 다음의 Table 2으로 나타낼 수 있다. 괄호 안의 수는 채널2에서 구름이 아닌 지역으로 나타난 영역의 개수이다.

밤과 낮으로 구분되어 낮으로 판별된 탐색 윈도우에 소벨 필터를 적용한다. 이때 채널 1 영상에 적용한 마스크의 크기는 5×5이다. 채널1영상에서의 해안선 추출은 임계값 50을 사용한다.

해안선이 추출된 위성영상과 랜드마크 간의 정합을 실시한다. 이때 탐색 윈도우의 크기는 180×180픽셀이고 랜드마크의 크기는 160×160픽셀이다. 탐색 윈도우와 랜드마크간의 정합은 채널2영상의 정합과 같이 ZNCC알고리즘을 적용하여 정합을 수행하였다. 정합결과는 Fig. 8과 같다.

5. 강인 추정 기법(RANSAC)

강인추정기법인 RANSAC (Random Sample Consensus)은 랜드마크와 위성영상간이 정합결과에 포함되어있는 오정합을 자동으로 검출한다. Fig. 9는 같은 지리적 위치의 정합결과도 영상에 따라 정합결과가 달라질 수 있음을 보여준다.

Fisher and Bolles(1981)이 제안한 강인추정기법(RANSAC)은 다음과 같은 일련의 과정으로 수행된다. 먼저, 무작위로 추출된 최소 개수의 점들로 모델을 수립하고, 수립된 모델에 사용된 점을 제외한 나머지 점으로 수립된 모델의 에러를 계산한다. 이때 임계치보다 작은 에러를 가지는 점을 그 모델의 지지점(Supporting Points)이라 한다. 이 과정을 최대 반복횟수만큼 반복하여 최대의 지지점을 가지는 모델을 찾고 이때의 모델점과 지지점을 Inlier로 그외의 점을 Outlier로 판단한다.

이 논문에서는 강인추정(RANSAC)에서의 모델 수립에 사용한 궤도기반모델을 설명하겠다(김태정 외, 2000; 허동석 외, 2006; Kim and Dowman, 2006).

$$\begin{pmatrix} u1 \\ u2 \\ u3 \end{pmatrix} = \lambda R_{py}^T R_{P,V}^T \begin{pmatrix} X - Xs \\ Y - Ys \\ Z - Zs \end{pmatrix} \quad (2)$$

식(2)에서 (u1, u2, u3)는 GOES-9위성 영상의 좌표를 나타내고, (X, Y, Z)은 지상좌표, (Xs, Ys, Zs)는 위성의 좌표를 나타낸다. R_{py}는 위성의 자세각 roll, pitch, yaw에 의해 결정되는 회전행렬을 나타내며, R_{P,V}^T는 위성의 자세와 속도벡터에 의해 결정되는 회전행렬을 나타내며 λ는 비례상수이다. 궤도기반 모델 추정을 위해 최소한의 정합 기준점 3개가 필요하다.

RANSAC은 오정합 검출을 위하여 수립된 모델의 최대반복수와 임계값을 결정해야 한다. 따라서 RANSAC의 최대반복수는 5000으로 결정하고 임계값을 2.5, 5, 7.5, 10픽셀 등으로 하여 궤도기반모델에 적합한 임계값을 알아보기 위하여 실험하였다.

Table 3과 Table 4는 각각 실험에 사용한 4개의 GOES-9 영상의 채널2와 채널1에서 RANSAC을 적용하여 추출한 기준점의 결과이다. 각 표는 임계값을 2.5, 5, 7.5, 10픽셀로 하여 실험했을 때 RANSAC에서 판별한 Inlier의 갯수("RANSAC Inlier")와 육안으로 확인된 Outlier와 Inlier 갯수("Visual Inspection"), 정합에 사용된 총 칩의 갯수("Total Chips")를 보여주고 있다. "RANSAC Inlier" 열에서 ()안의 수는 RANSAC으로 판단되는 Inlier들 중 육안 판독으로 확인한 오정합의 수이다. Table 3과 4에서 알 수 있듯이 실험에 사용한 모든 영상에서 RANSAC으로 판단되어진 Inlier들에는 오정합이 포함되어 있지 않았다.



Fig. 9. Channel 2 Matching Results including Good Match and Bad Match.

Table 3. RANSAC Results applied by Orbit-based Model within Channel 2.

Scene ID	Threshold	RANSAC Inlier				Visual Inspection		Total Chips
		2.5	5	7.5	10	Outlier	Inlier	
2004.04.21. 01:25		56(0)	71(0)	73(0)	73(0)	11	73	84(211)
2004.10.21. 19:25		33(0)	57(0)	60(0)	63(0)	57	64	121(211)
2004.12.19. 00:25		21(0)	31(0)	31(0)	31(0)	37	33	70(211)
2004.01.15. 06:25		11(0)	18(0)	21(0)	22(0)	25	24	49(211)

※ Total Iteration = 5000

Table 4. RANSAC Results applied by Orbit-based Model within Channel 1.

Scene ID	Threshold	RANSAC Inlier			Visual Inspection		Total Chips	
		2.5	Outlier	Inlier	10	Outlier		Inlier
2004.04.21. 01:25		59(0)	60(0)	61(0)	61(0)	5	61	66(72)
2004.10.21. 19:25		0	0	0	0	0	0	0
2004.12.19. 00:25		25(0)	25(0)	25(0)	25(0)	22	25	47(51)
2004.01.15. 06:25		12(0)	14(0)	15(0)	15(0)	29	16	45(49)

※ Total Iteration = 5000

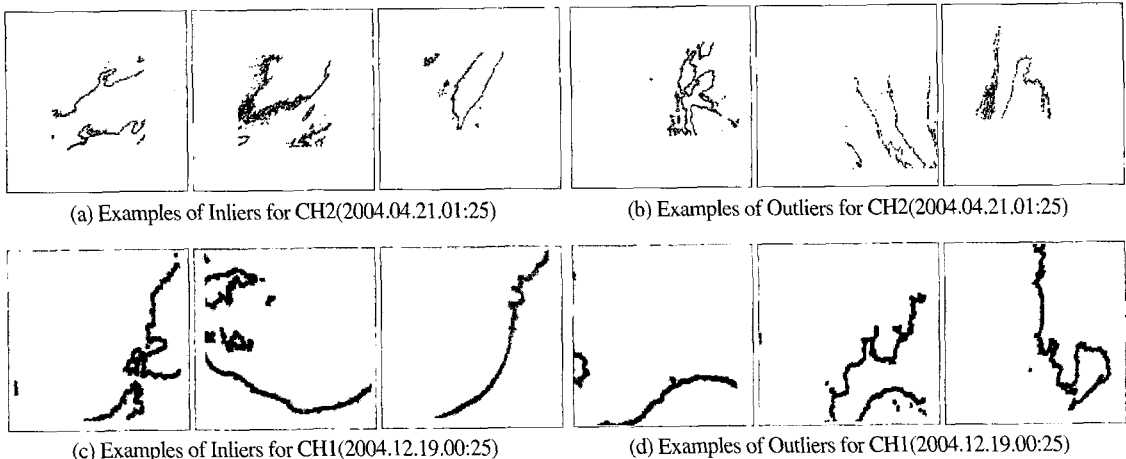


Fig. 10. Results of RANSAC.

채널1영상과 채널2영상의 임계값을 변화시켜 실험한 결과 임계값이 5, 7.5등 일 때 추출되는 기준점수가 1~3개 정도의 차이를 보인다. 최적의 임계값은 추출된 Inlier의 갯수와 모델 정확도를 고려하여 5픽셀로 결정하였다.

RANSAC으로 걸러진 채널2와 채널1의 Inlier와 Outlier결과는 다음 Fig. 10과 같다.

5. 기하보정 결과

자동기하보정은 정지궤도 기상위성이 설계된 위치에 위치하지 않음으로 발생하는 위치오차를 자동으로 보정하는 기술이다. 앞 절에서 설명한 바와 같이 자동기하보정을 위하여 해안선 데이터베이스 GSHHS와 기상영상 GOES-9과의 자동정합과 강인추정기법(RANSAC)을 이용하여 자동으로 기준점을 생성하였다.

위성영상의 원시데이터의 위치오차 보정을 위해 생성된 기준점을 사용하여 위치오차를 보정하는 정밀한

센서모델을 수립한다. 이때 사용된 센서모델은 위성의 궤도와 자세를 기반으로 하는 궤도기반모델이다. 이 모델은 RANSAC으로 오정합을 검출하기 위해 수립된 궤도기반 모델과 같으므로 별도의 설명은 생략한다. 기하보정을 위한 처리 과정은 다음과 같다. 정밀한 센서모델을 수립하고 수립된 센서모델을 사용하여 출력영상의 픽셀에 해당하는 위경도를 계산하고 이 위경도에 대응되는 입력영상의 픽셀을 계산하여 입력영상의 계산된 밝기값을 출력영상의 밝기값으로 할당한다.

실험에 사용한 영상은 앞 절에서 구름 추출, 밤낮구분, 정합과 RANSAC 등의 실험에 사용된 4개의 영상이다. 채널별로 추출된 기준점의 정확도 비교를 위해 각각 센서모델수립을 채널1과 채널2에서 얻은 기준점만을 사용한 경우와 채널1, 2의 기준점을 모두 사용한 경우로 구분하여 실험하였다. Fig. 11은 자동기하보정의 전체 수행과정을 나타낸 것이다.

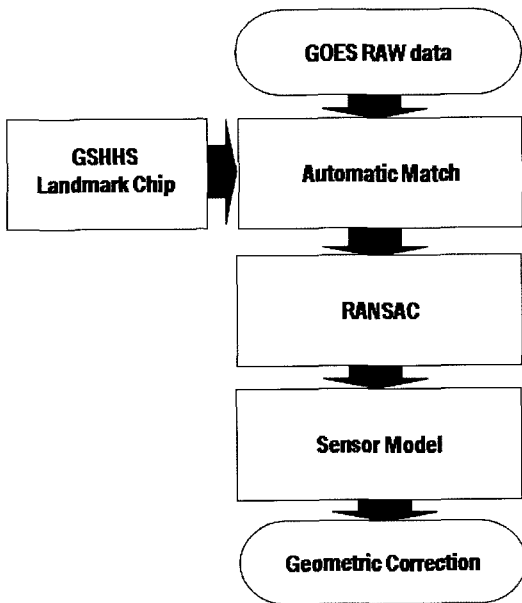


Fig. 11. Geometric Correction in Full Processing.

Table 5의 결과는 수립된 센서모델의 RMSE(Root Mean Square Error)로 단위는 이때 채널 1영상의 해상도를 기준으로 한 픽셀이다.

Table에서 알 수 있듯이 4개의 영상에서 센서모델을 수립한 결과, 채널1과 2 결과에서 추출한 기준점에서는 채널1 기준점보다 정확도가 다소 떨어지나 채널2 기준점보다는 향상된 성능을 보이는 센서모델을 수립할 수 있었다. 채널1영상은 가시광선 영상으로 촬영시각에 따라 기준점을 얻지 못할 수도 있으므로 항상 채널1만으로부터 센서모델 및 기하보정에 사용할 수 있는 기준점을 얻을 수 없다. 따라서 채널1과 채널 2의 정합 결과를 합친 정합 결과로부터 기준점을 취득하는 것이 바람직하다는 것을 알 수 있다. 따라서 최종적으로 채널1과 채널2에서 얻은 기준점을 합쳐 이를 기하보정에 사용하였다.

Fig. 12, 13, 14은 실험에 사용한 영상 중 2004년 4월 21일에 촬영한 채널1영상을 기하보정한 영상이다.

기하보정의 정확도를 확인하기 위하여 해안선 데이터베이스를 기하보정된 영상에 투영시켜보았다. 해안선 데이터베이스가 실제 영상에 존재하는 해안선에 일치되는 경우가 기하보정이 정확하게 수행된 경우이다. 육안으로 구분을 쉽게 하기 위해 전체 영상 중 일부 지역을 확대하여 나타내었다. 아래의 영상들을 통해서 기하보정이 성공적으로 수행되었음을 확인할 수 있다.

통신해양기상위성 1호기의 시간요구사항을 충족하기 위해 자동 기하보정의 효율성 판단을 위한 시간 확보는 중요하다. 이를 위해 자동 기준점 생성에 대한 시간을 측정하였다. 시간 측정에 사용한 플랫폼은 Intel Pentium (R) Dual CPU가 장착된 PC이며 Clock Speed는 3 GHz, 메모리는 512MByte, 운영체제는 Microsoft Windows XP를 사용하였다.

Table 6은 자동 기준점 생성을 위해 필요한 구름 추출, 소벨 필터, 정합 및 RANSAC 수행시 채널1과 2에 걸리는 시간을 나타내었다. 실험 결과 소요되는 시간은 채

Table 5. The Accuracy of Model established using Control Points derived from Channel 1 and 2.

	GCPs from CH1 (pixels)	GCPs from CH2 (pixels)	GCPs from CH1 + 2 (pixels)
2004.04.21. 01:25	1.031	2.097	1.214
2004.10.21. 19:25	-	2.355	2.355
2004.12.19. 00:25	1.422	2.287	1.548
2004.01.15. 06:25	2.321	2.150	1.578

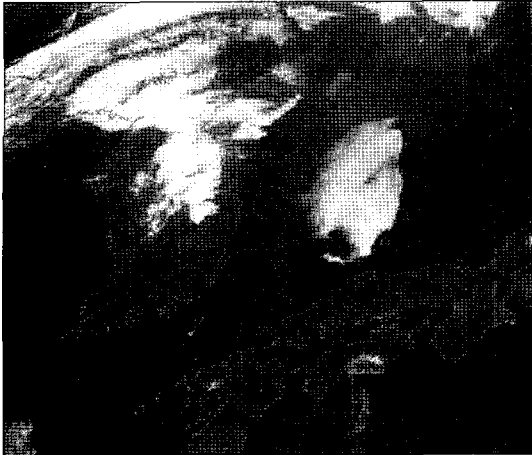


Fig. 12. Korea and Japan (CH 1, 2004.04.21).

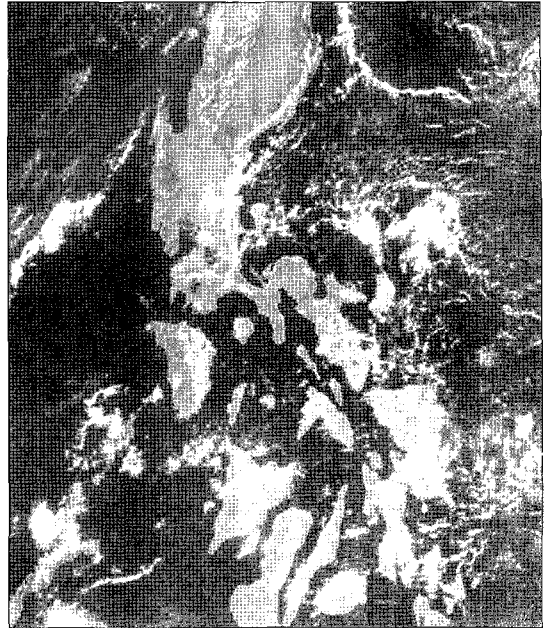


Fig. 14. The Philippine Islands (CH 1, 2004.04.21).



Fig. 13. Northwest Shoreline in Australia (CH 1, 2004.04.21).

널의 경우 칩 하나당 약 0.2초이며, 채널2의 경우 칩 하나당 약 0.6초로 나타나는 것을 볼 수 있다. 실험결과, 만약 구축된 211개의 랜드마크가 모두 정합에 사용된다면 기준점 생성에 소요되는 시간은 최대 3분이며, 약 $\frac{1}{3}$ 의 랜드마크가 구름, 밤 지역에 존재한다고 가정하면 기준점 생성에 2분 정도가 소요됨을 예측할 수 있다. 추출된 채널1과 2의 기준점으로 센서모형을 수립하고 GOES-9

Table 6. Matching Processing Time in Channel 1 and 2.

	Channel 1		Channel 2	
	Total Time	Time per One Chip	Total Time	Time per One Chip
2004.04.21. 01:25	17.781	0.250	53.266	0.626
2004.10.21. 19:25	0	0	85.030	0.693
2004.12.19. 00:25	9.375	0.182	44.313	0.624
2004.01.15. 06:25	9.297	0.184	31.077	0.622

※ Unit : sec.

Table 7. Geometric Correction Processing Time.

	CH 1	CH 2	CH 3	CH 4	CH 5	Total
2004.04.21. 01:25	106.80	7.17	2.22	7.17	7.19	130.55
2004.10.21. 19:25	107.34	7.17	2.20	7.19	7.22	131.13
2004.12.19. 00:25	107.67	7.22	2.22	7.19	7.19	131.48
2004.01.15. 06:25	106.81	7.19	2.19	7.17	7.17	130.53

※ Unit : sec.

의 각 채널별로 기하보정에 소요된 시간을 다음의 Table 7로 나타내었다. 모든 채널의 기하보정에만 수행되는 시간은 약 2분 10여초가 소요되었음을 알 수 있다.

6. 결 론

통신해양기상위성의 기하보정의 전과정을 자동으로 수행할 수 있는 기술을 개발하였다. 개발된 기술은 해안선 데이터베이스와 기상위성 영상간의 자동정합기술, 정합으로부터 자동으로 오정합을 추출해내는 기술, 정밀센서모델링 기술 및 기하보정 기술이다.

개발된 기술들을 실험하고 기하보정의 정확도를 확인하기 위해 해안선을 기하보정된 영상에 투영시킨 결과 육안으로 판독시 영상의 해안선과 투영한 해안선이 거의 대부분 일치하는 것을 볼 수 있었다. 이때 수립된 센서모델의 정확도는 채널1영상의 해상도를 기준으로 하였을 때 2~3 픽셀의 에러가 나타났다. 이는 약 2~3Km의 오차로 채널2영상의 해상도가 4Km임을 고려할 때 기하보정을 위한 정밀한 센서모델 수립이 이뤄졌으며, 센서모델 수립에 사용된 기준점들의 정확도도 확보되어 있음을 나타낸다.

또한 모든 채널에 대해서 기하보정 전과정, 즉, 기상위성의 원시데이터로부터 영상을 생성하고, 랜드마크칩을 추출하여 자동정합을 수행하고 기준점을 추출하여 기하보정을 수행하는 데에 소요되는 시간은 약 4분 내외였다. 따라서 개발된 기술은 통신해양기상위성의 정밀한 기하보정이 이루어졌으며, 지상국에서의 처리시간 요구사항을 충족할 수 있다고 판단된다.

사 사

이 연구는 항공우주연구원의 지원에 의하여 연구되었습니다.

참고문헌

김태정, 김승범, 신동석, 2000, 대표적 위성영상 카메라

모델링 알고리즘들의 비교연구, *Journal of the Korean Society of Remote Sensing*, 16(1): 73-86.

이태윤, 김태정, 최해진, 2005, 정합과 강인추정기법에 기반한 정지궤도 기상위성 영상에서의 자동 랜드마크 추출기법 연구, *Journal of the Korean Society of Remote Sensing*, 21(6): 505-516.

허동석, 김태정, 2006, GOES-9영상의 정밀기하보정을 위한 여러 센서모델 분석.

Chen, P. Y., Srinivasan, R., Fedosejevs, G., and Narasimhan, B., 2002, An automated cloud detection method for daily NOAA-14 AVHRR data for Texas, USA, Department of Agricultural Engineering, Texas A&M University, College Station, Texas 77843, USA, *Int. J. Remote Sensing*, 2002, 23(15): 2939-2950.

Fischler, Martin A. and Robert C. Bolles, 1981, Random Sample Consensus: A Paradigm for Model Fitting with Applications to Image Analysis and Automated Cartography, *Communications of the ACM*, 24(6): 381-395.

Kamel, A. A., 1996, GOES Image Navigation and Registration System, Proc. Of SPIE Conference on GOES-8 and Beyond, Denver, USA, AUGUST, 2812: 766-776.

Kelly, K. A. and J. F. Hudson, 1996, GOES 8/9 Image Navigation and Registration Operations, Proc. Of SPIE Conference on GOES-8 and Beyond, 2812: 777-788.

Kim, T. and Y-J. Im, 2003, Automatic Satellite Image Registration by Combination of Stereo Matching and Random Sample Consensus, *IEEE transactions on geoscience and remote sensing*, 41(5): 1111-1117.

Kim, T. and Dowman, I., 2006, Comparison of two physical sensor models for satellite images: position-rotation model and orbit-attitude model, *Photogrammetric Record*, 21(114): 110-

123.

NOAA/NESDIS, 1998, Earth Location User's Guide (ELUG), NOAA/SD3-1998-015R1UD0, <http://rsd.gsfc.nasa.gov/goes/text/>

Shin, D., 1996, Application of Machine Vision to Cloud Studies Using Stereoscopic Satellite Images, Department of Electronic Engineering University College London, pp124-129, 206-

208.

Space Systems-Loral, 1996, GOES I-M DataBook, <http://rsd.gsfc.nasa.gov/goes>

Wessel, P. and W. H. F. Smith, 1996, A global, self-consistent, hierarchical, high-resolution shoreline database, *JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH*, 101(B4): 8741-8743.