KOMPSAT-2 MSC 전처리시스템을 위한 RPC(Rational Polynomial Coefficient)생성 기법에 관한 연구

A Study on the Method of Generating RPC for KOMPSAT-2 MSC Pre-Processing System

서두천[1] · 임효숙[2]
Seo, Doo Chun · Lim, Hyo-Suk

[1] 한국항공우주연구원 위성운영센터 원격탐사그룹 연구원(E-mail:dcivil@kari.re.kr)
[2] 한국항공우주연구원 위성운영센터 원격탐사그룹 그룹장(E-mail:hslim@kari.re.kr)

Abstract

The KOMPSAT-2 MSC(Multi-Spectral Camera), with high spatial resolution, is currently under development and will be launched in the end of 2004.

A sensor model relates a 3-D ground position to the corresponding 2-D image position and describes the imaging geometry that is necessary to reconstruct the physical imaging process. The Rational Function Model (RFM) has been considered as a generic sensor model. form. The RFM is technically applicable to all types of sensors such as frame, pushbroom, whiskbroom and SAR etc. With the increasing availability of the new generation imaging sensors, accurate and fast rectification of digital imagery using a generic sensor model becomes of great interest to the user community.

This paper describes the procedure to generation of the RPC (Rational Polynomial Coefficients) for KOMPSAT-2 MSC.

1. 서 론

인공위성자료로부터 지상의 3차원 위치를 결정하기 위한 과정 중 필수적이고, 기본적인 과정이 센서 모델링이다. 센서모델링은 카메라(센서) 투영중심, 사진상의 점, 지상물체간의 기하학적인 관계를 규명하는 방법에 따라 물리적모델(physical model), 추상적모델(abstract model) 및 일반적모델(generalized model)의 세 가지로 크게 구분되며, 본 연구에서 개발하고자 하는 RPC는 추상적 모델의 한 종류이다.

RPC는 RFM(Rational Function Model)에서 추출된 계수를 의미하는 것으로, RFM은 위성의 궤도정보를 얻을 수 없는 경우나 궤도에 대한 정보가 불확실하여 물리적 센서 모델로는 지형보정을 수행할 수 없는 경우에 사용한다. 또한 이 모델은 frame, pushbroom, whiskbroom, panoramic 및 SAR 등 다양한 센서에서 취득한 위성 영상의 지형보정에 적용될 수 있다. 또한 최근 발사된 고해상도의 상업용 위성인 IKONOS-2, QuickBird-2 위성자료에서도 RFM형태의 위성정보를 제공하고 있다.

본 연구에서는 KOMPSAT-2 위성 영상자료중 위성의 보조데이터를 사용자에게 제공하지 않는다는 가정 하에, 이 보조데이터를 대신하여 사용자가 영상을 기하보정 할 수 있는 RPC 생성알고리즘을 개발하고 KOMPSAT-2 전처리시스템에 연계될 프로그램을 개발하는 것이다. 현재까지 KOMPSAT-2 MSC 데이터는 제공되지 않기 때문에, 부득이 KOMPSAT-1 EOC Pass 자료와 SPOT PAN 자료를 이용하여

실험하였다.

KOMPSAT-2 위성영상의 전처리시스템은 기본적으로 단영상만을 대상으로 처리하기 때문에 2차원상의 영상좌표로부터 3차원 지상좌표를 계산할 수 없다. 따라서, RPC를 생성하기 위하여 필요한 높이값을 추출할 수 있는 Terrain-Independent Ⅰ, Terrain-Independent Ⅱ, Terrain-Dependent의 3가지 방법을 적용하였다.

2. KOMPSAT-2 MSC 전처리시스템 구성

다목적 위성 2호기의 MSC (Multi Spectral Camera) 영상 자료 전처리시스템은 지상수신시스템 (Data Acquisition Facility; DAF)과 자료처리시스템 (Data Processing Facility; DPF)으로 구성된다. 처리시스템은 수신시스템으로부터 MSC Level 0 영상 자료를 받게 되며, 관제시스템과 영상 자료 수신 및 처리에 필요한 보조 자료들을 주고받게 된다. 처리시스템의 모든 작업은 주문관리자인 OM (Order Manager)에 의해 관리되어지고, MSC 영상 자료의 처리는 CAP (Catalog & Product Generation S/W)에서 수행되어지며, 저장관리자인 AM (Archive Manager), DB 운영자인 DBMS (Database Management System), 외부 사용자 인터페이스인 PCBI (Public Catalog Browser & Order Ingest), 전체 처리시스템을 관리하는 SIM (System Information Manager), 관제시스템과의 인터페이스를 담당하는 MIS (MCE Interface S/W) 등으로 구성되어 있다. 이 외에도, NM (Network Manager), CBI (Catalog Browser & Order Ingest), MF (Media Formatter), PDM (Physical Device Manager), PSS (Pass Scheduling S/W) 등의 모듈들이 포함되어 있다.

3. 실험 및 방법

본 연구는 KOMPSAT-2 MSC 영상과 함께 제공될 RPC를 생성할 수 있는 알고리즘과 전처리시스템에 연계될 프로그램을 개발하는 것이다. 실제 KOMPSAT-2 MSC 데이터는 2005년 상반기에 사용할 수 있기 때문에, 부득이 KOMPSAT-1 EOC 자료와 SPOT PAN 자료를 이용하여 실험하였다. KOMPSAT-2 위성영상의 전처리시스템은 기본적으로 단영상만을 대상으로 처리하기 때문에 2차원상의 영상좌표로부터 3차원 지상좌표를 계산할 수 없다. 따라서, RPC를 생성하기 위하여 필요한 높이값을 추출할 수 있는 방법 모색이 필요하다.

1) Terrain-Independent Ⅰ; 단영상으로부터 가상 3차원 객체공간상의 점들을 추출하기 위해 임의의 지상 높이값 Z를 부여하고 이에 해당하는 평면 지상좌표(X, Y)를 추출하는 방법
2) Terrain-Independent Ⅱ; 입체영상인 경우에는 외부에서 제공되는 지상 높이값이 없어도 지상 3차원 좌표를 생성할 수 있다. 즉 공선조건식을 기본으로 두 영상내에 존재하는 매칭점을 이용하여 공간교차이론을 적용하면 지상의 3차원 좌표를 생성할 수 있다.
3) Terrain-Dependent; 이 방법은 외부에서 DEM, 수치지도와 같이 높이와 평면지상좌표가 제공될 경우 적용될 수 있는 방법이다.

3.1 Terrain-Independent Ⅰ

KOMPSAT-1 전처리시스템에서 지상좌표를 계산하는 방법은 물리적모델의 한 종류인 Look Vector Modeling으로 그림 1과 같은 순서에 의해 결정된다. 이 모델은 위성에 부착된 GPS센서, Gyro 센서, Star 센서로부터 측정된 위성보조데이터만으로 관측된 영상의 지상좌표를 결정하며, KOMPSAT-2 MSC 영상도 기본적으로 KOMPSAT-1 EOC 영상과 유사한 과정으로 지상좌표를 결정한다.

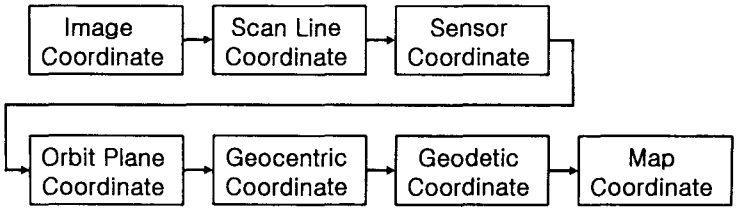

그림 1. Look Vector Modeling

그림 1의 과정 중 실제 지상좌표를 계산하는 부분은 다섯 번째의 Geocentric Coordinate 부분이다. 이 과정에서 가상의 지상 3차원 좌표를 계산하는 방법은 다음과 같다.

공선조건식을 기본으로 영상의 각 pixel에 해당하는 위성 위치, 자세를 계산한 후 지상좌표는 식(1)과 같다.

$$X = X_S + (Z - Z_S)\frac{x_p}{z_p} \qquad Y = Y_S + (Z - Z_S)\frac{y_p}{z_p} \qquad (1)$$

위의 식(1)에서 Z는 지상표고(H), 타원체고(h) 및 지오이드고(Δh)로 구성된다. 그러나 전처리시스템에서 단영상의 경우 지상표고는 zero로 가정하여 위성영상의 지상좌표를 계산한다. 그러나 RPC를 생성하기 위해서는 Z가 필요하므로 위도와 높이의 반복계산법에 의하여 지상좌표를 계산하였다. 최종적인 지상기준점은 지심좌표(X, Y, Z)형태로 산출하였다. 사용되는 영상좌표는 영상의 평면상에 고루 분포될 수 있도록 일정한 격자 간격으로 취득하며, 이때 각 격자점 마다의 3차원 지상좌표는 H를 변화시키면서 여러 점을 추출하였다. 즉 임의 격자점의 한 영상좌표인 (c, r)와 이에 해당하는 지상좌표는 높이에 따른 n개의 지상좌표($X_{1\sim n}, Y_{1\sim n}, Z_{1\sim n}$)가 획득된다.

사용된 KOMPSAT-1 EOC 영상은 2001년 11월 27일 경사각 -15.29도 관측한 대전지역 영상이며, 이 지역의 최대표고는 약 540 m 정도이다. 검사점은 X, Y의 10 pixel 간격으로 총 71,724점을 산출하였다.

3.1 Terrain-Independent II

입체영상이 제공될 경우에는 엄밀센서모델의 결과 계산된 외부표정요소와 두 영상의 매칭점을 이용하여 지상좌표를 계산하고 이를 이용하여 RPC를 산출한다.

본 연구에서는 수동으로 기준점과 검사점을 선정하지 않고 수치적인 bucketing 기법을 도입하여 일정한 격자 간격의 균등한 표고 분포가 형성되도록 하였다. 기준점을 획득하는 단계는 다음과 같은 4 단계로 구성되어 있다.

<1단계> 매칭된 결과 중 상관계수가 임계값 이상의 값을 가지는 좌우 영상좌표만을 선택

<2단계> 대상지역의 영상을 칼럼과 라인방향으로 l×m 크기가 되도록 격자망을 구성

<3단계> 각 격자망마다 높이 분포상태를 고려하여 5개의 범위로 구분한 후, 각 높이 범위내 한 점씩 취득한다. 따라서 이론적인 기준점의 수는 l×m×5개이다.

<4단계> 영상좌표에 대한 기준점의 지상좌표(X, Y, Z)는 엄밀센서모델링 후 결정된 외부표정요소와 좌우 영상좌표를 공간교차이론을 적용하여 산출

검사점의 선정방법도 기준점의 선정방법과 동일하나 기준점과의 중복을 피하기 위하여 높이 범위의 중앙값과 한 격자 영역내 중앙에 위치하는 두 점을 선정하였으므로 이론적인 검사점의 수는 l×m×2개이다. 검사점의 지상좌표(X, Y, Z)중 위치요소(X, Y)는 엄밀센서모델링에서 결정된 값을 사용하였으며, 높이요소(Z)는 국립지리원 제작 축척 1:5,000 수치지도로부터 만들어진 수치표고모델에서 위치요소에 대응하는 표고를 추출하여 사용하였다. 위와 같은 방법으로 기준점과 검사점을 추출하기 위하여 적용된 격자망의 크기는 10×10이며, 임계 상관값으로 0.95를 적용하였다. 최종적으로 획득한 총 기준점과 검사점 수로는 574점(기준점: 388개, 검사점: 186개)이다.

3.3 Terrain-Dependent

실험에 사용된 데이터는 2002년 9월 26일 KOMPSAT-1 EOC 센서로 경남 김해 일원을 촬영한 영상이다. RPC를 생성하기 위해 필요한 지상기준점은 축척 1:5,000 수치지도에서 획득하였으며, 이에 해당하는 영상기준점은 수치지도의 주변 지형지물의 위치상태와 영상의 위치를 비교하면서 픽셀 이하단위까지 읽었다. 획득된 총 기준점은 69점(기준점 44점, 검사점 25점)정도이다.

4. 평가 및 고찰

실험에 사용된 3개의 각기 다른 실험데이터에 대하여 다음과 같은 내용을 실험하였다.

1) 각기 다른 세 종류의 실험데이터에 9개의 각기 RFM을 적용하여 각 데이터 별, 모델별 정확도 평가.

2) 직접해와 반복해의 계산된 RPC 정확도 비교 평가

3) 각 환경별 최적의 RFM 모델의 결정

모델식 결정에 있어서는 먼저 각 환경별로 구성된 모델식으로부터 앞 절의 계수결정 단계에 따라 미지계수인 RPC를 결정한다. RPC가 결정되면 지상좌표(X, Y, Z)를 이용하여 영상좌표(c, r)를 산출한 후, 산출된 영상좌표와 검사점과의 잔차로부터 기준점과 검사점의 평균제곱근오차를 각 영상데이터들마다 계산하여 모델식의 적합 여부를 평가하였다.

4.1 Terrain-Independent I

앞 절에서도 설명한 바와 같이 이 방법은 RPC를 계산하는데 지상 높이 값이 필요하지 않으므로 위성 전처리 시스템에 적용될 수 있는 방법이다. 표 1은 총 450점의 기준점으로부터 RPC를 추출하여, 이를 검사점에 적용하여 계산된 RMSE와 오차의 최대값을 픽셀단위로 나타낸 것이다.

RFM의 $P2 = P4 \equiv 1$, $P2 = P4$, $P2 \neq P4$의 2차 다항식 형태가 비교적 양호한 결과값을 산출되었으며, 임계값인 1.0×10^{-8}에 수렴하는 반복회수도 모두 2~5회 정도로 수렴속도가 비교적 안정적 이었다.

정확도가 가장 우수한 경우는 $P2 \neq P4$의 2차식인 경우 평균 RMSE가 0.0046 pixel 그리고 최대 오차가 0.0016 pixel 정도 산출되어 위성 보조데이터를 사용한 Look Vector 모델링과 거의 같은 정도로 산출될 수 있음을 알 수 있다. 따라서 전처리시스템에 적용될 수 있는 KOMPSAT-1 EOC 영상의 RPC인 경우 투영왜곡과 지구곡률, 대기굴절, 렌즈왜곡을 보정하는 2차 다항식만으로도 충분한 정확도를 확보할 수 있음을 알 수 있다. 향후 KOMPSAT-2 MSC 영상인 경우 본 연구에서 구현된 알고리즘을 바탕으로 적합한 RPC 모델을 실험한 후, 사용자에게 제공한다면 사용자의 요구정확도를 만족시킬 수 있을 것으로 기대된다.

표 1. Terrain-Independent I 경우의 RMSE (pixel)

Case	차수	RMSE	최대오차	차수	RMSE	최대오차
$P2 = P4 \equiv 1$	1	4.9886	1.2144	2	0.0256	0.0036
$P2 = P4$	1	3.1382	0.9221	2	0.0076	0.0020
$P2 \neq P4$	1	0.0965	0.0324	2	0.0046	0.0016

4.2 Terrain-Independent II

표 2는 SPOT 입체 영상으로부터 계산된 지상좌표를 이용하여 RPC를 추출하고, 이 RPC를 이용하여 검사점(186점)에 대한 지상좌표를 계산하였다. 검사점에 대한 비교 자료로는 축척 1:5,000 수치지도로부터 생성된 DEM으로부터 매칭결과와 공간교차이론으로 계산된 평면좌표에 해당하는 표고값으로 비교하였다.

RPC의 추출 정확도는 0.5 pixel 이하로 지상좌표를 결정할 수 있었으며, $P2 \neq P4$의 2차인 경우 그 정확도가 가장 우수하였다. 이 결과는 SPOT PAN 영상의 엄밀센서모델링 결과(위성위치; 1차 다항식, 위성자세; w, ϕ 고정, κ 1차 다항식)인 8.305 m 정도와 비교하여 볼 때 그 정확도의 저하는 거의 없는 것으로 판단된다. 이 실험에서도 추출된 RPC를 이용할 경우, 사용자의 요구정확도에 만족하는 기하보정 결과를 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

표 2. Terrain-Independent II 경우의 RMSE

Case	차수	RMSE	최대오차
$P2 = P4 \equiv 1$	1	0.356	1.346
	2	0.351	1.496
	3	0.362	1.589
$P2 = P4$	1	0.350	1.402
	2	0.360	1.477
	3	0.371	1.912
$P2 \neq P4$	1	0.346	1.453
	2	0.222	0.996
	3	0.695	11.556

4.3 Terrain-Dependent

표 3의 결과는 수치지도에서 획득된 지상기준점으로부터 RPC를 계산한 후, 이를 이용한 검사점의 정확도를 나타낸 것으로 적용된 9개의 각기 다른 RFM에 대하여 $P2 = P4$의 3차 다항식의 경우를 제외하면 모두 약 0.5 픽셀 정도의 정확도를 획득할 수 있음을 알 수 있다.

표 3. Terrain-Dependent II 경우의 RMSE

Case	차수	RMSE	최대오차
$P2 = P4 \equiv 1$	1	0.526	1.042
	2	0.497	1.060
	3	0.488	1.013
$P2 = P4$	1	0.533	1.072
	2	0.534	1.030
	3	4.876	19.171
$P2 \neq P4$	1	0.519	1.005
	2	0.513	0.930
	3	0.424	0.943

RPC의 결과와 일반 다항식의 1차 다항식인 Affine모델의 경우와 정확도가 유사하게 나타났다. 이것은 사용된 기준점의 정확도 문제, 기준점 분포, 사용된 기준점 수 등 다양한 문제가 있을 수 있다. 즉 위성영상의 공간해상력에 따른 기준점 획득시 오차는 피할 수 없으며, RFM 구성 다항식의 차수에서도 나타난 것처럼 중저해상도 위성 영상인 경우 3차이상 RPC를 사용할 경우 정확도 향상은 크게 기대하기 어렵다.

5. 결 론

본 연구에서는 KOMPSAT-2 위성 영상자료중 위성의 보조데이터를 사용자에게 제공하지 않는다는 가정하에, 이 보조데이터를 대신하여 사용자가 영상을 기하보정 할 수 있는 RPC 생성알고리즘 개발하고 그 정확도를 검정하였으며, 그 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 위성 전처리시스템에 적용될 수 있는 Terrain-Independent I 인 경우, KOMPSAT-1 EOC 영상의

물리적 센서모델로부터 모델을 추출한 결과인 검사점에 대한 정확도(RMSE)가 10^{-3} pixel로 정도로 오차가 산출되어, RPC 모델이 KOMPSAT-1 영상의 물리적 센서모델을 대체할 수 있음이 확인되었다. 따라서 향후 KOMPSAT-2 MSC 위성에서도 적합한 RPC 모델이 결정된다면 소요정확도를 확보할 수 있을 것으로 기대된다.

개발된 RPC 추출 프로그램으로 각기 다른 위성영상에 대해서도 실험한 결과, 소요정확도를 확보할 수 있었을 뿐만 아니라 프로그램의 안정성을 검증 할 수 있었다.

향후 연구에서는 실제 KOMPSAT-2 위성자료와 비슷한 특성을 가지는 고해상도 위성영상자료를 이용하여 RPC 모델의 적합도를 실험 검증하여야 할 것이며, 프로그램의 안정성, 처리속도, 정확도 향상 방안에 대해서도 추가적인 연구가 필요할 것이다. 또한 실제 KOMPSAT-2 전처리 시스템에서의 구현, 제공된 RPC를 이용한 사용자 지원방안에 대해서도 추가적인 연구가 필요할 것으로 생각된다.

참고문헌

공공원격탐사센터 홈페이지, http://krsc.kari.re.kr/

Hu, Y. and Tao, C. V. (2000), An improved solution to the Rational Function Model using additional control information. *2000 ASPRS Annual conference. Washington, D.C.* : 4 pages(CD-ROM)

Lee, H. S., Kim, H. J., Yu, K. Y. and Kim, Y. I. (2001), A Study on the Rational Function Coefficients Generation from IKONOS Satellite Image, *Proceeding of KSCE 2001 Annual Conference, Seoul*, CD-ROM, 4 pages.

Tao, C. V., Hu, Y., Mercer, J. B. and Schnick, S. (2000), Image rectification using a generic sensor model - rational functional model, *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. 33, Part B3, pp. 874-881.

Orun, A. B. and Natarajan, K. (1994), A modified bundle adjustment software for SPOT imagery and photography : tradeoff, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Vol. 60, No. 12, pp. 1017-1023.

Zhang, Y., Tao, C. V. and Mercer, B. (2000), Accuracy assessment of DEM with respect to high resolution satellite imagery, *2000 ASPRS Annual conference. Washington, D.C.* : 8 pages(CD-ROM)