

IKONOS 영상으로부터 추출되는 3차원 지형자료의 정확도 향상에 관한 연구 - RPC 모델의 위치정확도 보정을 통하여

Improving the Accuracy of 3D Object-space Data Extracted from IKONOS Satellite Images - By Improving the Accuracy of the RPC Model

이재빈¹⁾ · 곽태석²⁾ · 김용일³⁾

Lee, Jae Bin · Kwak, Tae Seok · Kim, Yong Il

Abstract

This study describes the methodology that improves the accuracy of the 3D object-space data extracted from IKONOS satellite images by improving the accuracy of a RPC(Rational Polynomial Coefficient) model. For this purpose, we developed the algorithm to adjust a RPC model, and could improve the accuracy of a RPC model with this algorithm and geographically well-distributed GCPs(Ground Control Points). Furthermore, when a RPC model was adjusted with this algorithm, the effects of geographic distribution and the number of GCPs on the accuracy of the adjusted RPC model was tested. The results showed that the accuracy of the adjusted RPC model is affected more by the distribution of GCPs than by the number of GCPs. On the basis of this result, the algorithm using pseudo_GCPs was developed to improve the accuracy of a RPC model in case the distribution of GCPs was poor and the number of GCPs was not enough to adjust the RPC model. So, even if poorly distributed GCPs were used, the geographically adjusted RPC model could be obtained by using pseudo_GCPs. The less the pseudo_GCPs were used -that is, GCPs were more weighted than pseudo_GCPs in the observation matrix-, the more accurate the adjusted RPC model could be obtained. Finally, to test the validity of these algorithms developed in this study, we extracted 3D object-space coordinates using RPC models adjusted with these algorithms and a stereo pair of IKONOS satellite images, and tested the accuracy of these. The results showed that 3D object-space coordinates extracted from the adjusted RPC models was more accurate than those extracted from original RPC models. This result proves the effectiveness of the algorithms developed in this study.

Keywords : IKONOS Satellite Image, RPC Model, Ground Control Point, Pseudo Ground Control Point

요 지

본 논문은 IKONOS 입체영상과 RPC(Rational Polynomial Coefficients) 모델을 이용하여 3차원 지형자료를 추출할 경우, 추출되는 3차원 지형자료의 정확도를 향상시키기 위하여 RPC모델의 위치정확도를 보정하는 연구를 수행하였다. 이를 위하여 지상기준점을 활용하여 RPC 모델의 보정을 시도할 경우, 지상기준점의 지역적인 분포 및 사용되는 개수가 보정되는 RPC 모델의 위치정확도 향상에 어떠한 영향을 미치는지를 검증하였다. 실험결과 사용되는 지상기준점의 개수보다는 지상기준점의 분포상태가 보정되는 RPC 모델의 위치정확도에 미치는 영향이 더 크다는 것을 확인할 수 있었다. 또한, 분포상태가 고른 지상기준점을 사용하여 본 연구에서 사용한 알고리즘을 적용할 경우에 안정적으로 위치정확도가 향상된 RPC 모델을 획득할 수 있음을 알 수 있었다. 수행된 연구결과를 토대로 지상기준점의 분포가 좋지 않거나 사용 가능한 지상기준점의 개수가 부족한 경우, 이를 극복하기 위해 의사지상기준점을 활용하는 알고리즘에 관한 연구도 수행하였다. 실험 결과에 따르면 지역적으로 좋지 않은 분포를 보이는 지상기준점들을 활용한 경우에도 의사지상기준점을 활용하면 원래의 RPC 모델보다 위치정확도가 향상된 RPC 모델을 얻을 수 있었다. 그리고 적은 수의 의사지상기준점을 활용할수록 즉, 지상기준점에 대한 가중치를 더 높일수록 정확도가 높은 RPC 모델을 획득할 수 있었다. 마지막으로, 본 연구에서 개발된 알고리즘들을

1) 연결저자 · 정회원 · 서울대학교 지구환경시스템공학부 박사과정(E-mail:ctdevil@bcline.com)
2) 정회원 · 서울대학교 지구환경시스템공학부 석사과정(E-mail:imkwak@empal.com)
3) 정회원 · 서울대학교 지구환경시스템공학부 부교수(E-mail:yik@plaza.snu.ac.kr)

적용하여 RPC 모델의 위치정확도를 보정하고 이를 이용하여 3차원 지형좌표를 추출하였다. 정확도평가 결과 원래의 RPC 모델을 사용하여 추출된 3차원 지형좌표보다 정확도가 향상된 3차원 지형좌표의 취득이 가능하였다. 이는 본 연구에서 개발한 알고리즘들의 효용성을 입증하는 결과라 사료된다.

핵심용어 : IKONOS 위성영상, RPC 모델, 지상기준점, 의사지상기준점

1. 서 론

1999년 9월 24일 최초의 상업용 고해상도 위성이라 불리는 IKONOS 위성이 발사된 이후로 민간사용자들도 1m 해상도의 위성영상을 일반 상업적인 분야에 이용이 가능하게 됨으로써 위성영상에 대한 관심이 기하급수적으로 증가되었으며 이를 활용하기 위한 많은 연구가 이루어졌다. IKONOS 위성영상에 관한 초기 연구로서, Frank Gerlach (2000), Dial et al.(2001) 그리고, Grodecki & Dial(2001)은 IKONOS 위성에 대한 영상자료의 특징들, 궤도정보 및 흑백영상과 다중분광 영상의 센서 시스템에 대하여 분석하였다.

특히, Space Imaging사가 군사적 혹은 상업적인 이유로 IKONOS 위성의 물리적 모델을 공개하는 대신 RPC 모델이라는 다항식모델을 제공함으로써 RPC 모델에 대한 관심이 증대되었으며 이를 해석하고 보정하는 연구들이 현재까지도 활발히 진행되고 있다. Grodecki(2001)는 IKONOS 위성의 물리적 센서모델로부터 RPC 모델을 생성하는 원리를 설명하였으며, IKONOS 위성의 센서모델링 시 RPC 모델이 물리적 모델을 대신하여 사용이 가능하다는 것을 입증하였다. 또한, C. Vincent TAO(2000)는 최소제곱법을 이용하여 영상센서에 대한 정보 없이 지상기준점만을 사용하여RPC모델을 생성하는 원리에 대해서 설명하였다. IKONOS 영상과 RPC 모델을 이용하여 3차원 지형좌표를 추출하는 연구로는 Kaichang Di(2001)가 IKONOS 위성영상의 RPC 모델에 Taylor이론을 적용하여 지상좌표를 취득하는 연구를 수행하였으며 항공사진과 지도를 이용하여 정확도를 평가하였다.

하지만, 추가적인 기준점정보 없이 IKONOS 위성영상과 물리적 모델로부터 추출된 RPC모델을 이용하여 3차원 지형자료를 구축할 경우 사용자가 원하는 정확도를 확보하기가 어렵다. 따라서, 현재까지도 IKONOS 위성영상과 RPC 모델을 이용하여 구축되는 3차원 지형자료의 위치정확도를 향상시키기 위한 많은 연구가 이루어지고 있다. 이에 관한 연구로써 Grodecki(2003)는 그의 논문에서 RPC 모델의 위치정확도를 보정하기 위하여 RPC 모델에 블록조정 기법을 적용하는 알고리즘을 소개하고, 실험결과를

물리적 모델을 사용하여 블록조정을 수행한 결과와 비교하였다. 결과적으로 동일한 정확도를 얻을 수 있으며, 물리적 모델을 사용하는 경우보다 수학적으로 더 간단하며 안정적이라고 보고하였다. Fraser(2003)는 IKONOS 영상의 물리적 모델에 대한 정보 없이 지상기준점을 이용하여 RPC 모델의 오차를 보정함으로써 추출되는 3차원 지형좌표의 위치정확도를 향상시키는 연구를 수행하였다. 또한, Toutin(2003)은 CCRS(Canada Centre for Remote Sensing)에서 개발된 3D parametric modeling 기법을 이용하여 IKONOS 위성영상의 번들조정과 정사보정을 수행하였으며 위의 연구를 통하여 입력되는 지상기준점의 개수 및 정확도와 최종 결과물의 정확도 사이의 상관관계를 정의하고 오차가 전파되는 과정을 보고하였다.

현재 이와 같이 IKONOS 영상과 RPC 모델을 이용하여 구축되는 3차원 지형자료의 정확도를 향상시키기 위한 연구가 중점적으로 이루어지고 있으며 많은 연구결과들이 발표되고 있다. 이러한 시점에서 본 연구는 RPC 모델 자체를 추가적인 기준점 정보들을 활용하여 위치정확도를 보정하며 이를 이용하여 추출되는 3차원 지형좌표의 위치정확도를 향상시키려는 시도를 수행하였다. 또한 지상기준점의 분포상태 및 사용되는 개수에 따라 보정되는 RPC 모델의 위치정확도를 평가하였다. 그리고 지상기준점의 분포상태가 좋지 못한 경우나 필요한 개수보다 적은 경우에도 의사지상기준점을 활용하여 RPC모델을 보정하는 알고리즘에 대해 연구하였으며 이는 실제 활용적인 측면에서 보다 효과적인 의의를 가진다고 할 수 있다.

2. 연구 방법

2.1 RPC 모델

사진측량학의 많은 분야에서 위성영상이나 항공사진의 물리적 카메라 모델을 대신하여 여러 형태의 다항식모델들이 사용되어 왔다. 특히, Space Imaging사가 IKONOS 위성영상의 센서모델로 물리적 모델을 대신하여 RPC 모델을 제공하면서부터 RPC 모델에 대한 관심은 많이 증가되었다. RPC 모델에 대하여 Grodecki(2001)가 자세히 그

의 논문에서 설명하였지만 본 논문에서 다시 한번 간략하게 요약하면 다음과 같다.

RPC 모델은 지상의 3차원 지형좌표(X, Y, Z)와 영상의 픽셀좌표(line, sample) 간의 상관관계를 표현하는 모델이다. 각각의 영상좌표 line과 sample에 대하여 3차원 지형좌표(X, Y, Z)의 함수인 3차의 비례다항식으로 상관관계를 표현한다. 다항식에서 영상좌표와 3차원 지형좌표는 수학적인 계산의 안정성을 위하여 축척계수와 오프셋이 적용된 (-1 ~ +1)사이의 값으로 정규화되어 있다. RPC 모델은 영상의 i점과 지상의 3차원 지형좌표 j에 대하여 다음과 같이 표현된다.

$$Line_{ij} = \frac{P_l(X, Y, Z)_j}{P_z(X, Y, Z)_j}, Sample_{ij} = \frac{P_s(X, Y, Z)_j}{P_u(X, Y, Z)_j} \quad (1)$$

여기서,

$$\begin{aligned} P_l(X, Y, Z)_j &= a_0 + a_1X + a_2Y + a_3Z + a_4XY + a_5YZ \\ &\quad + a_6ZX + a_7X^2 + a_8Y^2 + a_9Z^2 + a_{10}XYZ \\ &\quad + a_{11}X^3 + a_{12}Y^2X + a_{13}Z^2X + a_{14}X^2Y \\ &\quad + a_{15}Y^3 + a_{16}Z^2Y + a_{17}X^2Z + a_{18}Y^2Z + a_{19}Z^3 \end{aligned}$$

$$P_z(X, Y, Z)_j = c_0 + c_1X + c_2Y + c_3Z + \dots + c_{17}X^2Z + c_{18}Y^2Z + c_{19}Z^3$$

$$P_s(X, Y, Z)_j = b_0 + b_1X + b_2Y + b_3Z + \dots + b_{17}X^2Z + b_{18}Y^2Z + b_{19}Z^3$$

$$P_u(X, Y, Z)_j = c_0 + c_1X + c_2Y + c_3Z + \dots + c_{17}X^2Z + c_{18}Y^2Z + c_{19}Z^3$$

2.2 IKONOS 위성영상과 RPC 모델을 활용한 3차원 지형좌표 추출

2.1절에 언급한 것처럼 영상 1개당 영상의 line, sample 좌표에 대하여 각각 1개씩 2개의 RPC 모델이 존재한다. 따라서, 하나의 지상좌표에 대응하는 영상의 매칭점들을 n개의 영상에 대하여 각각 결정하게 되면 3차원 지형좌표(X, Y, Z) 3개를 미지수로 가지는 2n개의 방정식을 얻을 수 있다. 이 연립방정식의 해를 구함으로써 IKONOS 위성영상과 RPC 모델을 이용하여 3차원 지상좌표를 구할 수 있게 된다. 이를 위해 우선 비선형방정식인 RPC 모델을 미지수인 3차원 지형좌표(X, Y, Z)에 대하여 선형화하고 이를 이용하여 관측방정식을 구성한다. 3차원 지형좌표(X, Y, Z)가 n개의 영상에서 관측될 경우, 관측행렬은 다음과

같이 주어진다.

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial F_1}{\partial X} & \frac{\partial F_1}{\partial Y} & \frac{\partial F_1}{\partial Z} \\ \frac{\partial G_1}{\partial X} & \frac{\partial G_1}{\partial Y} & \frac{\partial G_1}{\partial Z} \\ \frac{\partial F_2}{\partial X} & \frac{\partial F_2}{\partial Y} & \frac{\partial F_2}{\partial Z} \\ \frac{\partial G_2}{\partial X} & \frac{\partial G_2}{\partial Y} & \frac{\partial G_2}{\partial Z} \\ \dots & \dots & \dots \\ \frac{\partial F_n}{\partial X} & \frac{\partial F_n}{\partial Y} & \frac{\partial F_n}{\partial Z} \\ \frac{\partial G_n}{\partial X} & \frac{\partial G_n}{\partial Y} & \frac{\partial G_n}{\partial Z} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} dX \\ dY \\ dZ \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_1 - (F_1)_0 \\ c_1 - (G_1)_0 \\ r_2 - (F_2)_0 \\ c_2 - (G_2)_0 \\ \dots \\ r_n - (F_n)_0 \\ c_n - (G_n)_0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \\ v_4 \\ \dots \\ v_{2n-1} \\ v_{2n} \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$\text{여기서, } F_i = \frac{P_l(X, Y, Z)_j}{P_z(X, Y, Z)_j} - r_i, \quad G_i = \frac{P_s(X, Y, Z)_j}{P_u(X, Y, Z)_j} - c_i$$

r_i = 영상의 열좌표, c_i = 영상의 행좌표

위의 관측방정식을 최소제곱조정함으로서 3차원 지형좌표(X, Y, Z)를 추출할 수 있다.

2.3 기준점 정보를 이용한 RPC 모델 보정 알고리즘

Space Imaging사에서 제공하는 GEO-product IKONOS 위성의 RPC 모델은 위성의 궤도정보와 카메라 모델에 관한 정보만을 이용하여 결정된다. 따라서, 위성의 궤도추정 오차와 자세추정오차가 물리적 모델로부터 RPC 모델을 결정하는 과정에서 그대로 전파되게 된다. Space imaging 사는 추가적인 기준점정보 없이 제공되는 GEO level의 IKONOS 위성영상의 경우 수평위치 오차가 15m(CE90)라고 발표하였으며, Frank Gerlach(2000)는 IKONOS 단일 입체영상과 물리적 모델을 이용하여 3차원 지형좌표를 추출할 경우 얻을 수 있는 정확도는 수평 25.0m, 수직 22.0m라고 제시하였다.

본 연구는 추가적인 기준점정보 없이 제공되는 RPC 모델의 정확도를 향상시키기 위하여 다음의 알고리즘을 적용하였다. 보정의 대상이 되는 RPC 모델의 계수를 미지수로 하고 기준점 정보들과 이에 대응하는 영상의 매칭점을 기지값으로 하여 관측방정식을 구성하였다. i개의 지상기준점이 j개의 영상에 존재할 경우 관측행렬을 구성하면 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} a_{11}^i & 0 \dots 0 & \dots & 0 \dots 0 & 0 \dots 0 \\ 0 \dots 0 & a_{22}^i & \dots & 0 \dots 0 & 0 \dots 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ 0 \dots 0 & 0 \dots 0 & \dots & a_{2j-1}^i & 0 \dots 0 \\ 0 \dots 0 & 0 \dots 0 & \dots & 0 \dots 0 & a_{2j}^i \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} dx_{1,1} \\ dx_{2,1} \\ dx_{3,1} \\ \vdots \\ dx_{4,j,1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (r - F_0)_1 \\ (c - G_0)_2 \\ \vdots \\ (c - G_0)_{2j} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} v_1^1 \\ v_2^1 \\ \vdots \\ v_{2j}^1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$A_{(2ij \times 40j)} \times X_{(40j \times 1)} = L_{(2ij \times 1)} + V_{(2ij \times 1)}$$

여기서, i는 지상기준점의 개수, j는 중복영상의 매수이며,

$$dx \text{는 계수의 보정량이고, } a_{2j-1}^i = \left[\frac{\partial F_j^i}{\partial a_{1j}}, \frac{\partial F_j^i}{\partial a_{2j}}, \frac{\partial F_j^i}{\partial a_{3j}}, \dots, \frac{\partial F_j^i}{\partial a_{20j}}, \frac{\partial F_j^i}{\partial c_{1j}}, \frac{\partial F_j^i}{\partial c_{2j}}, \frac{\partial F_j^i}{\partial c_{3j}}, \dots, \frac{\partial F_j^i}{\partial c_{20j}} \right]$$

$$a_{2j}^i = \left[\frac{\partial F_j^i}{\partial b_{1j}}, \frac{\partial F_j^i}{\partial b_{2j}}, \frac{\partial F_j^i}{\partial b_{3j}}, \dots, \frac{\partial F_j^i}{\partial b_{20j}}, \frac{\partial F_j^i}{\partial c_{1j}}, \frac{\partial F_j^i}{\partial c_{2j}}, \frac{\partial F_j^i}{\partial c_{3j}}, \dots, \frac{\partial F_j^i}{\partial c_{20j}} \right] \text{이다.}$$

식 (3)의 관측행렬을 최소제곱조정함으로서 향상된 정확도를 가지는 RPC 모델을 생성할 수 있게 된다. 위의 관측행렬에서 미지수의 개수는 한 개의 영상에 총 59개의 계수가 존재하므로 j개의 위성영상에 대해 알고리즘을 적용할 경우 총 59×j개의 미지수가 존재하게 된다. 하지만, 갱신 대상이 되는 RPC 모델의 계수는 확보할 수 있는 지상기준점의 개수에 따라, 3차원 지상좌표 추출 시 정확도에 미치는 영향에 따라 선택될 수 있으며, 이는 다음의 3절에서 자세히 논하도록 한다.

3. 실험결과 및 분석

3.1 3차원 지형좌표추출

2.2절에서 제시한 알고리즘에 따라 작성한 3차원 지형좌

표 추출 프로그램(그림 1)을 활용하여 3차원 지형좌표를 추출하고 이에 대한 정확도를 평가하였다. 대상영상은 20001년 11월에 촬영된 대전지역 GEO-product IKONOS 입체영상으로써 1m의 해상도를 가지는 흑백영상이다. DGPS 측량을 통하여 그림 2와 같이 대상지역에 고르게 분포하도록 36개의 지상기준점을 획득하였으며 이를 이용하여 정확도 평가를 수행하였다. 정확도 평가 결과 위도, 경도, 고도에 대하여 각각 RMSE는 9.771m, 4.628m, 14.539m, 오차평균은 9.698m, 4.454m, 14.476m의 결과를 얻을 수 있었다.

3.2 지상기준점을 이용한 RPC 모델의 위치정확도 보정

본 연구에서 제안한 알고리즘을 활용하여 RPC 모델의 위치정확도를 보정할 경우, 보정의 대상이 되는 RPC 모델의 차수에 따라 필요한 지상기준점의 개수는 한 쌍의 IKONOS 입체영상에 대하여 다음의 표 1과 같이 주어진다.

그러나 실제적으로 지상기준점을 획득하는 일은 경제적으로나 시간적으로 매우 많은 노력이 필요하다. 뿐만 아니라 RPC 모델의 계수는 1차식 계수의 경우 $1.0 \times 10^6 \sim 1.0 \times 10^{-4}$ 까지의 값으로, 2차식의 경우 $1.0 \times 10^{-2} \sim 1.0 \times 10^{-6}$ 까지의 값으로, 3차식의 경우 $1.0 \times 10^{-4} \sim 1.0 \times 10^{-9}$ 까지의 값으로 구성되어 있다. 따라서, 계수보정량에 따른 위치정확도 보정효과를 고려할 경우, 1차 계수의 보정만으로도 위치정확도 향상의 효과가 충분하다고

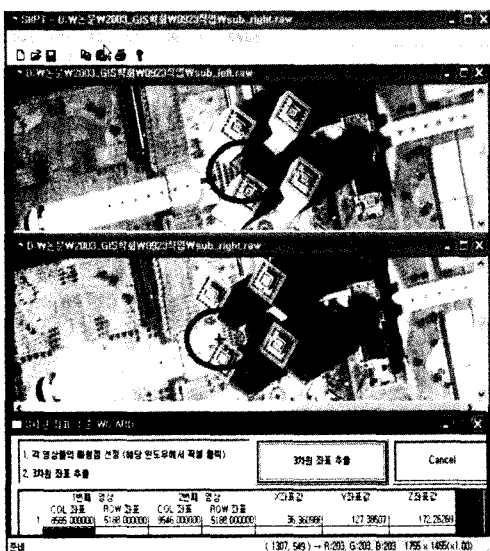


그림 1. 3차원 지형좌표추출 프로그램



그림 2. 지상기준점의 분포

표 1. 대상영상의 RPC 모델 갱신 시 필요한 지상기준점의 개수

보정대상 RPC의 차수	보정할 미지수의 개수	필요한 기준점의 수
1차	22개	6점 이상
2차	58개	15점 이상
3차	118개	30점 이상

판단되었다. 이를 바탕으로 본 연구에서는 현실적인 지상 기준점의 확보 가능성과 RPC 모델 보정시의 보정효과를 고려하고 수학적 연산의 편의를 도모하기 위하여 1차 계수만을 보정대상으로 제한하였다.

RPC 모델이 위치정확도 보정을 위하여 필요한 지상 기준점의 개수 및 개수의 증가에 따른 정확도 보정효과를 알아보기 위하여 전체적으로 고르게 분포된 지상기준점을 6개부터 14개까지 전체 영상에서 무작위로 추출하여 정확도 보정시의 안정성과 정확도 향상의 측면을 동시에 살펴 보았다. 즉, 36개의 DGPS 기준점 중에서 6개의 지상기준점을 영상전체에 고르게 분포하도록 총 7가지의 case로 추출하고 지상기준점의 개수를 14개까지 증가시키며 6개의 지상기준점 추출방식과 동일하게 9가지의 case로 지상기준점을 추출하여 이에 대한 정확도를 검사점을 이용하여 평가하였다. 다음의 그림 3은 지상기준점의 사용 개수별 case 중 최소 RMSE 값들의 변화를 보여주며, 그림 4는 지상기준점 사용 개수별 case들의 최대 RMSE값과 최소 RMSE값의 차이를 보여준다.

실험결과 6개의 지상기준점을 사용한 경우 최소오차가 위도, 경도, 고도 각각 1.506m, 1.298m, 1.475m, 14개의 지상기준점을 사용한 경우 최소오차가 1.357m, 1.180m,

1.329m로 거의 같은 보정 효과를 얻을 수 있었다. 이는 알고리즘의 적용 시 사용되는 지상기준점의 개수가 증가함에 따라 위치정확도가 보정된 RPC 모델로부터 추출되는 3차원 지형좌표의 정확도가 향상되는 것이 아니라는 점을 시사한다. 하지만, 6개의 지상기준점을 사용한 결과 보정된 RPC 모델로부터 추출되는 3차원 지형좌표의 RMSE는 각 case에 따라 위도(13.905m-1.590m), 경도(12.317m-1.740m), 고도(9.368m-1.706m)의 분포를 보이는 반면에 10개 이상의 지상기준점을 사용할 경우는 위도, 경도, 고도에 대한 오차평균 및 RMSE의 차이 값이 0.5m 이상을 넘지 않는 결과를 보였다. 이는 표 1에 제시된 관측행렬을 구성할 수 있는 개수의 지상기준점이 확보되면 지상기준점의 개수에 따라 보정정확도는 변화하지 않지만 전체 11×11km 크기의 IKONOS 영상을 안정적으로 정확도를 향상시키기 위해서는 영상에 전체적으로 고르게 분포된 일정한 개수 이상의 지상기준점이 필요하다는 것을 시사한다.

결론적으로 본 알고리즘을 활용한 RPC 모델의 보정 시 지상기준점의 개수보다는 지상기준점의 분포가 RPC 모델의 정확도 보정과 알고리즘의 안정도에 더 큰 영향을 끼칠 수 있음을 확인할 수 있었다. 또한 10개의 지상기준점과 본 알고리즘을 이용하여 RPC 모델을 보정할 경우 보정된 RPC 모델로부터 추출되는 3차원 지형좌표의 RMSE는 위도, 경도, 고도 각각 1.157m, 1.163m, 1.161m로서 원래의 RPC 모델을 사용하여 추출한 3차원 지형좌표의 정확도보다 매우 향상된 결과를 얻을 수 있었다. 또한, 본 연구에서는 위의 연구결과가 통계적으로 유의한지를 살펴보기 위하여 추출된 3차원 지형좌표의 오차분포에 대하여 t-test를 실시하였다. t-test 실시결과 위도, 경도, 고도오차의 변화량이

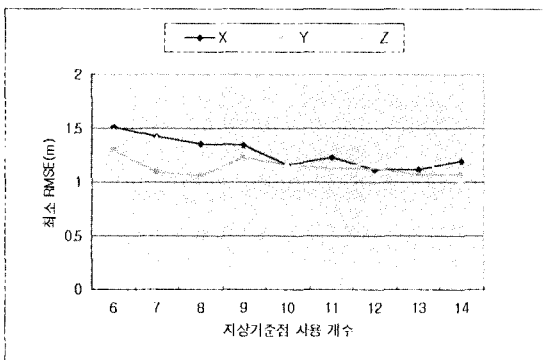


그림 3. 지상기준점 개수에 따른 case 중 최소 RMSE 변화

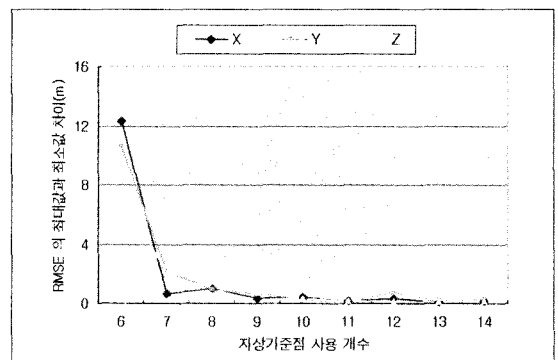


그림 4. 지상기준점 사용 개수에 따른 case별 RMSE 최대값과 최소값의 차이

본 알고리즘을 적용하였을 경우, 신뢰도 95% 이상으로 결과값이 유의하다는 결론을 얻을 수 있었다.

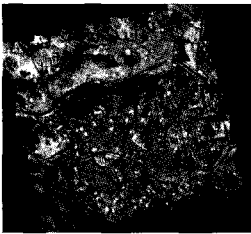
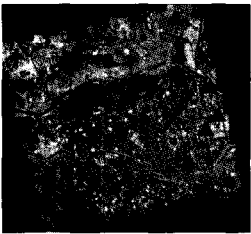
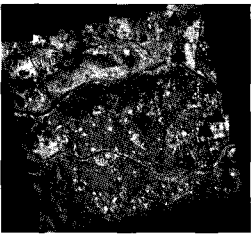
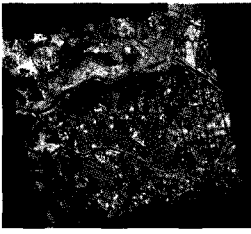
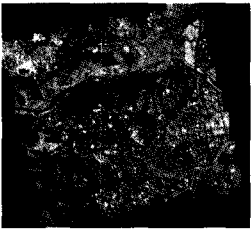
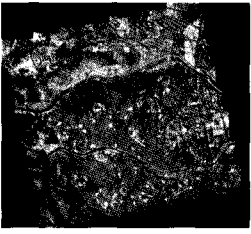
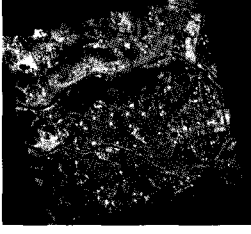
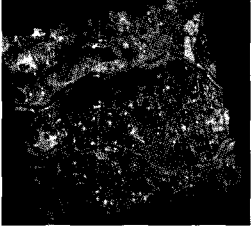
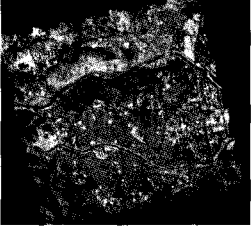
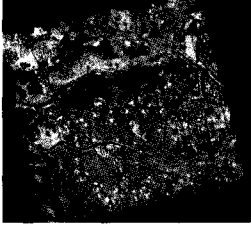
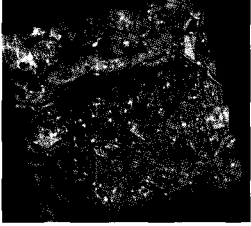
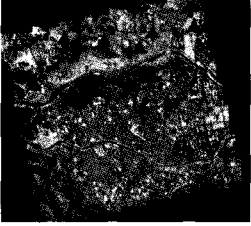
3.3 지상기준점과 의사지상기준점을 활용한 RPC 모델의 위치정확도 보정

실험결과를 통하여 지상기준점을 활용한 RPC 모델을 보정하고 이를 통하여 IKONOS 영상과 RPC 모델로부터 추출되는 3차원 지형좌표의 정확도를 향상시키기 위해서는 전체 영상에 고르게 분포된 지상기준점의 확보가 필수적이라는 사실을 확인할 수 있었다. 그러나 군사적인 이유, 혹은 지리적이거나 경제적인 이유로 현실적으로 전체 영

상에 고르게 분포된 10개 이상의 지상기준점을 획득하기에는 어려운 경우가 발생할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 의사지상기준점들을 사용하여 지상기준점의 분포 한계에 대한 현실적인 문제를 해결하려 하였다. 또한, 적은 수의 지상기준점을 사용하는 경우에도 의사지상기준점을 사용함으로써 관측방정식의 개수를 확보하여 수학적으로도 미지수보다 많은 수의 관측방정식을 확보할 수 있었다.

의사기준점은 원래의 RPC 모델로부터 추출되는 3차원 지상좌표로써 사용자가 영상에서 원하는 임의의 점에서 추출할 수 있다는 장점이 있으며 이는 지상기준점 분포의 한계를 극복할 수 있는 중요한 요소가 될 수 있다. 본 연구

표 2. 각 case별 지상기준점과 의사지상기준점의 분포

	지상기준점 분포	의사지상기준점 분포 1	의사지상기준점 분포 2
Case 1 (North)			
Case 2 (South)			
Case 3 (East)			
Case 4 (West)			

* ▲ : 지상기준점, + : 의사 지상기준점

표 3. 각 case별 추출된 3차원 지형좌표의 정확도 평가 결과

	R M S E (m)								
	GCP 6점			GCP 6점 + 의사기준점 5점			GCP 6점 + 의사기준점 3점		
	위도	경도	고도	위도	경도	고도	위도	경도	고도
Case 1 (North)	51.159	26.627	40.483	6.124	3.816	9.832	5.9482	3.3059	9.6536
Case 2 (South)	6.4648	2.7188	16.638	6.048	4.484	8.329	4.9762	4.1064	6.9991
Case 3 (East)	36.733	111.03	31.425	6.134	5.440	8.815	5.6184	2.9194	8.0725
Case 4 (West)	7.0599	10.335	2.082	8.238	7.424	9.975	6.6554	4.0638	10.941

는 의사지상기준점의 활용가능성을 검증하기 위하여 지상기준점이 극단적으로 좋지 못한 분포를 보이는 4가지의 케이스에 대한 실험을 수행하였다. 이러한 상황은 군사적으로 접근이 불가능한 지역인 경우에 많이 발생하는 경우로써 영상의 일부뿐만 지상기준점의 획득이 가능하고 나머지 지역은 군사적으로 적대적인 지역에 속하는 경우가 많이 발생하게 된다. 영상의 동서남북 각각 4방향으로 편중되어 있는 6개의 지상기준점들을 활용하여 RPC 모델의 보정을 시도하였으며, 지상기준점이 존재하지 않는 부분에 의사지상기준점을 위치시킴으로써 RPC 모델을 보정하고 보정된 RPC 모델을 이용하여 추출되는 3차원 지형좌표의 정확도를 평가하였다. 다음의 표 2는 각 case에 따라 실험에 적용된 지상기준점의 분포 및 의사지상기준점의 분포를 나타낸다.

실험 결과에 따르면 영상의 한쪽 방향으로 치우친 6개의 지상기준점만을 사용하여 RPC 모델의 갱신을 시도할 경우 갱신된 RPC 모델을 이용하여 추출되는 3차원 지상좌표의 정확도가 매우 불안정하며 낮은 결과를 보였다. 하지만, 6개의 지상기준점과 5개의 의사지상기준점을 사용하여 RPC의 갱신을 시도한 경우와 6개의 지상기준점과 3개의 의사지상기준점을 사용하여 갱신을 시도한 경우 4개의 case 모두에서 안정적인 결과를 보여주었다. 또한, 영상의 전체의 특징을 반영할 수 있도록 의사지상기준점을 선정한다면 5개의 의사지상기준점을 사용한 경우보다 3개의 의사지상기준점을 사용한 결과가 더 높은 정확도를 보이는 것을 관찰할 수 있다. 즉, 사용되는 의사지상기준점의 개수는 결국 관측방향성 상에서 지상기준점과 의사지상기준점에 대한 가중치를 의미하며 적은 수의 의사지상기준점을 사용할수록 지상기준점에 대한 가중치가 높아지므로 추출되는

RPC 모델을 지상기준점에 의해 보정하는 효과가 더 크게 할 수 있다는 것을 의미한다. 남쪽으로 치우친 지상기준점 6개와 3개의 의사지상기준점들을 사용하여 RPC 모델의 위치정확도를 보정한 경우 추출되는 3차원 지형좌표의 RMSE는 위도, 경도, 고도에 대해 각각 4.976m, 4.106m, 6.999m의 결과 값을 보여주었다. 다음의 표 3은 각 case에 따라 보정된 RPC 모델을 사용하여 3차원 지형좌표를 추출하고 이에 대해 정확도 평가를 수행한 결과이다.

4. 결 론

본 연구는 RPC 모델을 부가적인 기준점 정보를 이용하여 보정함으로써 위치정확도를 향상시키는 방안에 대하여 고찰하였다. 실험결과를 통하여 11×11km의 크기의 IKONOS GEO-product영상에 분포상태가 고른 10개의 지상기준점과 본 연구의 알고리즘을 적용하여 RPC 모델의 정확도 보정을 실시할 경우, 추출되는 3차원 지형좌표의 RMSE는 위도, 경도, 고도에 대하여 각각 1.157m, 1.163m, 1.161m의 결과를 얻을 수 있었다. 또한, 사용되는 지상기준점의 개수보다는 사용되는 지상기준점의 분포가 보정되는 RPC 모델의 위치정확도와 보정결과의 안정성에 미치는 영향이 더 크다는 것을 확인할 수 있었다. 위의 실험결과를 토대로 지상기준점의 분포상태가 좋지 않은 경우에 대한 환경적인 문제점들을 의사지상기준점을 활용하여 해결하려 시도하였다. 실험결과 지상기준점의 분포상태가 극단적으로 좋지 않은 경우에도 원래의 RPC 모델보다 위치정확도가 보정된 RPC 모델의 추출이 가능하였다.

본 연구를 보완할 수 있는 추가적인 연구과제로는 의사지상기준점의 분포 및 개수에 관한 연구와 더불어 RPC

모델의 보정 결과와 DEM과의 비교를 통하여 RPC 모델의 보정 결과를 검증하기 위한 연구가 필요하리라 사료된다.

감사의 글

본 연구는 국방과학 연구소 및 서울대 자동특화연구센터의 연구비 지원에 의한 연구결과임을 밝히며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

- C. Vincent TAO and Young Hu (2002), 3D Reconstruction Method Based on the Rational Function Model, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Vol. 68, No. 7, pp. 705-714.
- C. Vincent TAO, Yong HU, J. Bryan MERCER, Steve SCHNICK and Yun ZHANG (2000), Image Rectification Using A Generic Sensor Model-Rational Function Model, *IAPRS*, Vol. XXXIII, Part B3, 874-881.
- Clive S. Fraser and Harry B. Hanley (2003), Bias Compensation in Rational Functions for Ikonos Satellite Imagery, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 69, No. 1, pp. 53-57.
- Frank Gerlach (2000), Characteristics of Space Imaging's One-Meter Resolution satellite Imagery, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 66, No. 9, pp. 1103-1112.
- Grodecki, Jacek and Gene Dial (2001), IKONOS geometric accuracy, *Proceeding of Joint International Workshop on High Resolution Mapping from Space*, 19-21 September, Hannover, Germany, pp. 77-86 (CD-ROM).
- Jacek Grodecki (2001), IKONOS Stereo Feature Extraction-RPC Approach, *ASPRS Annual Conference*, CD-ROM.
- Jacek Grodecki and Gene Dial (2003), Block Adjustment of High-Resolution Satellite Images Described by Rational Polynomials, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 69, No. 1, pp. 59-68.
- Jae-Bin Lee, Yong Huh, Byoung-jun Seo and Yong-Il Kim (2002), Improvement the Positional Accuracy Of The 3D Terrain Data Extracted from IKONOS-2 Satellite Imagery, *ISPRS - Commission III Symposium*, CD-ROM.
- Kaichang Di, Ruijin Ma and Ron Li (2001), Deriving 3-D Shorelines from High Resolution IKONOS Satellite Images with Rational Functions, *ASPRS Annual Conference*, CD-ROM.
- Thierry Touin (2003), Error Tracking in IKONOS Geometric Processing Using a 3D Parametric Modelling, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 69, No. 1, pp. 43-51.
- (접수일 2003. 10. 10, 심사일 2003. 11. 12, 심사완료일 2003. 11. 30)