

선형 CCD카메라 영상의 정밀 기하학적 보정

신동석* · 이영란* · 이흥규**

한국과학기술원 인공위성연구센터 원격탐사연구팀*, 한국과학기술원 전산학과**

Precision correction of satellite-based linear pushbroom-type CCD camera images

Dongseok Shin*, Young-Ran Lee*, and Heung-Kyu Lee**

Remote Sensing Section, SaTReC, KAIST*, Dept. of Computer Science, KAIST**

Abstract

An algorithm developed for the precision correction of high resolution satellite images is introduced in this paper. In general, the polynomial warping algorithm which derives polynomial equations between GCPs extracted from an image and a base map requires many GCPs well-distributed over the image. The precision correction algorithm described in this paper is based on a sensor-orbit-Earth geometry, and therefore, it is capable of correcting a raw image using only 2-3 GCPs. This algorithm estimates the errors on the orbit determination and the attitude of the satellite by using a Kalman filter. This algorithm was implemented, tested and integrated into the KITSAT-3 image preprocessing software.

Keywords : precision geometric correction, error source modelling

요 약

본 논문에서는 고해상도 위성영상의 정밀 기하학적 보정에 대하여 기술한다. 일반적으로 GCP로부터 영상과 기준 지도 사이의 다항식을 유도하는 polynomial warping 방법인 경우 원하는 정확도를 얻기위해 영상 전체에 골고루 분포된 많은 GCP를 요구하게 된다. 하지만 제안되는 알고리즘은 위성-센서-궤도-지구 간의 기하학적 모델을 바탕으로 2-3개의 GCP만으로도 전체 영상을 매우 정확히 보정할 수 있다. 개발된 알고리즘은 GCP를 순차적으로 사용하여 부정확한 초기 궤도 및

1998년 6월 1일 접수 : 1998년 9월 11일 수리.

자세 정보를 정밀하게 추정하고 이러한 추정은 Kalman filter를 사용하여 이루어진다. 이 알고리즘은 현재 우리별 3호의 전처리 소프트웨어에 통합되어 구현되어 있으며 앞으로 우리별 3호 영상뿐 아니라 다목적실용위성 영상의 정밀 기하학적 보정에 사용될 예정이다.

I. 서론

고해상도 위성영상의 중요성이 날로 높아지고 1m급 해상도 위성영상의 출현을 눈앞에 둔 현재 이러한 영상으로부터 정확한 위치 정보를 추출하는 것이 가장 시급한 문제로 대두되었다. 위성영상을 정확히 지상기준에 투영시키는 것은 정밀 지도 제작, multi-temporal영상 응용, 변화 감지를 비롯한 수 많은 원격탐사 응용 분야에서 매우 중요하다.

원시 위성 영상은 위성의 궤도, 자세, 지구의 곡률 및 자전 등에 의하여 심한 기하학적 왜곡을 포함한다. 이러한 왜곡은 궤도, 센서의 촬영 각, 지구의 곡률 및 자전 속도 등을 기하학적으로 모델링하여 보정할 수 있으며 이를 초기 기하학적 보정이라고 한다 (신동석, 이영란, 1997). 하지만 초기 기하학적 보정 후에도 잔여 오차가 발생하며 이는 영상 촬영 시 위성 궤도 및 자세 결정의 부정확성에 의하여 필연적으로 생성되는 오차이다. 영상으로부터 정확한 위치 정보를 추출하기 위해서는 GCP를 사용하여 이러한 잔여 오차를 제거해 주어야 하며 이를 정밀 기하학적 보정이라고 한다.

위성영상의 정밀 기하학적 보정을 요구하는 각 사용자가 GCP를 추출하여 보정을 수행하는 것은 매우 비효율적이기 때문에 위성영상을 수신, 처리, 분배를 담당하는 지상국에서 영상을 정밀 보정까지 수행하여 사용자에게 분배하는 것이 바람직한 방법일 것이다. 정밀 기하학적 보정시 가장 중요한 것은 정확한 GCP를 사용하는 것이며 많은 연구인들이 기존에 제작된 지형도에서 정확한 GCP를 추출할 수 없다고 판단하고 있다. 따라서 DGPS등과 같은 정밀 측량에 의해서 우리나라의 GCP 데이터베이스를 구축하는 것이 매우 시급한 당면과제이다. 이러한 국가차원의 GCP 데이터베이스가 구축되면 위성영상 수신, 처리 분배를 수행하는 지상국에서 GCP정보를 사용하여 영상을 정확히 보정하고 이를 사용자에게 분배함으로써 정밀 보정 영상을 요구하는 사용자들을 만족시킬 수 있을 것이다. 또한 일반적으로 위성영상의 사용자는 상용 소프트웨어에서 제공하는 polynomial warping방법을 사용하여 영상을 보정하는데 이 방법은 영상 전체에 분포된 많은 GCP를 요구하기 때문에 그 정확도나 효율이 매우 떨어진다 (Chang et al., 1990).

본 논문에서 기술되는 정밀 보정 알고리즘은 2-3개의 GCP만을 이용하여도 영상을 정확히 보정할 수 있는 방법으로서 영상의 보정 처리를 주기적으로 수행해야 하는 수신, 처리, 분배 지상국의 운용에 필수적인 방법이다. 개발된 알고리즘은 현재 우리별 3호 영상 전처리 소프트웨어인 KIMS3 (KITSAT-3 Image Mosaic System) (Lee et al., 1996)에 구현되어 그 성능이 입증되었고 다목적실용위성 영상으로부터 DEM을 자동으로 생성하기 위해 개발되고 있는 소프트웨어에 정밀 기하학적 보정과 정밀 카메라 모델링 용으로 구현되고 있다.

II. 정밀 기하학적 보정 알고리즘의 요구 사항

필자가 판단하기에 정밀 기하학적 보정 알고리즘의 성능은 다음과 같은 중요도 순서에 의해서 결정된다고 할 수 있다.

- 1) 최종 잔여 오차
- 2) 보정에 사용되는 GCP의 대표성 (필요한 GCP 개수, 필요한 GCP 분포정도)
- 3) 보정 수렴 속도
- 4) 부정확한 GCP에 대한 민감도
- 5) 보정 수행 시간
- 6) 결과의 정확도에 따른 GCP추가 가능성
- 7) 결과 값의 유용성 (물리적 의미, Extrapolation가능성)

먼저 정밀 보정에서 가장 중요한 것은 영상이 최종적으로 얼마나 정확히 보정되었는가 하는 점일 것이다. 하지만 보정의 최종 정확도 뿐 아니라 여러 가지 다른 점들도 고려되어야 한다. 그 일례로 보정에 사용되는 GCP의 대표성을 들 수 있다. 어떠한 보정 알고리즘을 사용하더라도 보정에 사용되는 GCP들은 결과적으로 거의 정확히 보정된다. 하지만 정밀 보정의 목적은 몇 개의 대표되는 GCP를 사용하여 영상 내의 모든 화소들을 정확히 보정하는 것이다. 따라서 사용된 GCP들은 정확히 보정되더라도 다른 화소들이 제대로 보정되지 않는 알고리즘은 그 성능이 우수하다고 말할 수 없다. 이러한 GCP의 대표성 문제는 영상 전 화소를 정확히 보정하기 위해 몇 개의 GCP를 사용해야 하는가를 결정하고 또한 GCP가 영상 전체에 얼마나 골고루 분포되어야 하는가를 결정한다.

이러한 GCP의 대표성 문제는 특히 주기적인 보정 작업을 수행해야 하는 위성 영상 수신, 처리, 분배 지상국일 경우 매우 중요하게 대두된다. 예를 들어 지상국에서 매일 다수의 영상을 정밀 보정해야 한다고 할 때 한 영상에서 GCP를 3개 추출해야 하는 것과 20개를 추출해야 하는 것은 매우 큰 차이가 있다. 또한 영상에서 일부분이 구름에 덮여 있거나 다른 이유로 GCP를 추출할 수 없는 경우가 많으므로 영상 전체에 골고루 GCP를 추출해야 하는 보정 알고리즘을 사용하는 불가능하다. 결론적으로 영상의 일부분에서 GCP를 2-3개 정도 추출하여 영상 전체를 정확히 보정할 수 있는 알고리즘이 필수적으로 필요한 것이다.

만일 기준 GCP가 오차를 갖고 있거나 영상에서 GCP를 조금 잘못 잡았을 때 이러한 오차가 보정 결과에 얼마나 민감한가도 매우 중요한 성능의 척도이다. 또한 GCP의 추가 가능성은 정밀 보정 수행의 효율을 결정하는 큰 문제이다. 영상을 요구되는 정확도로 보정하기 위해서 GCP를 몇 개 추출해야 하는지는 사전에 판단하기가 힘들다. 따라서 만일 보정 알고리즘이 GCP하나로 영상을 보정하고 그 결과를 사용자가 본 후 더 정밀한 보정을 원할 시 GCP를 추가로 추출하여 다시 보정할 수 있는 알고리즘을 사용하면 보정 효율을 높일 수 있을 것이다.

마지막으로 보정 후 결과 정보가 어떤 의미를 가지며 이 정보를 다른 곳에 응용할 수 있는가 하는 것도 중요한 척도라고 할 수 있겠다. 두 개의 서로 다른 알고리즘이 같은 GCP를 사용하여 같은 보정 결과를 생성하였다고 할 때 한 알고리즘은 그 결과를 보정 자체 외에는 사용할 수 없고

다른 알고리즘은 여러 중요한 물리적인 의미를 가진 정보 - 예를 들어 영상 촬영 시 정확한 위성의 위치 및 자세 정보 등을 제공한다면 후자의 알고리즘이 더 유용할 것이다. 이러한 물리적인 결과 정보는 보정 결과의 extrapolation에 사용될 수 있다. 본 논문에 기술되는 알고리즘은 보정 후에 정확한 위성의 궤도 정보 및 자세정보를 제공한다. 만일 정확한 GCP를 추출하기가 불가능한 지역 (예 : 북한지역)의 영상을 정밀 기하학적 보정하기 위해서는 같은 궤도에 위치한 다른 영상을 GCP를 사용하여 보정한 후 그 궤도 오차를 전파시킴으로써 보정하는 것이 가능하기 때문이다.

상용 소프트웨어에서 일반적으로 지원하는 polynomial warping방법은 본 절에 기술된 모든 조건으로 판단하면 매우 성능이 안좋은 알고리즘이다. 이 알고리즘은 영상 촬영 시의 기하학적 모델을 고려하지 않고 단지 두 공간의 좌표 관계를 다항식으로 표현하기 때문에 영상 전역에 골고루 분포된 많은 GCP를 요구하고 보정 결과가 GCP의 정확도에 매우 민감하며 물리적인 의미를 가진 정보가 아닌 단순한 다항식의 계수만을 생성한다. 비선형 기하 왜곡을 정확히 보정하기 위해서는 고차 다항식을 사용해야 하는데 이럴 경우 GCP 추출 오차에 매우 민감해 지므로 polynomial warping방법은 일반적으로 1차 다항식을 사용하는 경우가 많다. 본 논문에 기술되는 알고리즘은 이러한 모든 조건을 만족하는 최선의 정밀 기하학적 보정 알고리즘이라고 할 수 있다.

III. 정밀 기하학적 보정



Fig.1. Flow of precision correction algorithm.

Figure 1은 정밀 기하학적 보정의 순서를 보여준다. 일반적으로 정밀 기하학적 보정이라고하면 초기 기하학적 보정을 수행하고 나온 결과를 보정한다고 생각하기 쉽다. 하지만 그럴 경우 영상을 두 번 resampling 해야 하므로 보정 후 오차가 커질 뿐 아니라 영상의 방사학적 정보 또한 많이 손실된다. 개발된 정밀 기하학적 보정 알고리즘은 위성의 초기 궤도 및 자세 정보를 GCP로부터 정확한 값으로 추정하고 이 값들을 사용하여 초기 기하학적 보정을 수행한다. 따라서 초기 보정과 정밀 보정의 차이점은 개발된 카메라 모델을 적용할 때 초기 궤도 및 자세 정보를 사용하는가 아니면 GCP로부터 정확히 결정된 궤도 및 자세 정보를 사용하는가의 차이일 뿐이다. 정밀 보정 과정은 몇 개의 GCP만을 사용하기 때문에 거의 수행시간이 걸리지 않으며 따라서 GCP추출 시 소요되는 시간 외에는 정밀 보정 알고리즘과 초기 보정 알고리즘의 수행시간은 거의 동일하다.

본 절에서는 정밀 보정 시 사용되는 Kalman filter에 대해서 간단히 기술하고 카메라 모델에 Kalman filter를 적용하여 기하학적 오차의 원인을 추정하는 방법을 설명한다.

1. Extended Kalman Filter

Kalman filter는 오차를 보유하고 있는 측정치들로부터 원하는 변수를 추정하는 최적 추정기이다). 또한 Kalman filter는 모든 측정 데이터를 한번에 사용하여 추정하는 batch estimator가 아니고 측정 데이터를 하나씩 사용하여 점진적으로 추정을 수행시키는 recursive estimator이다.

우선 추정 벡터(X)와 측정 벡터(Z)가 선형 변환 함수(행렬 H)로 관계 지어져 있을 때의 경우 다음과 같은 식으로 표현된다.

$$Z = HX + R \dots\dots\dots (1)$$

여기서 R 은 측정 오차로서 일반적으로 Kalman filter에서는 Gaussian으로 가정된다. 이러한 선형 식에서 각 측정치로부터 X 를 최적화 추정하는 Kalman filter의 순환 과정은 Figure 2와 같다 (Brown & Hwang, 1985).

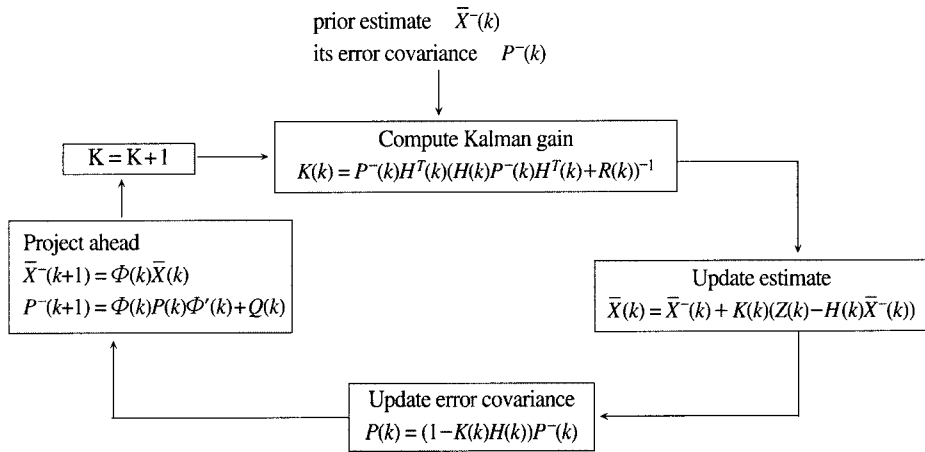


Fig. 2. Kalman filter loop

Figure 2에서 표현된 모든 변수는 행렬 형태로서 이는 두개 이상의 파라미터를 동시에 추정하는 것을 가능하게 한다. 추정할 파라미터의 개수를 n 이라 하고 측정 값의 차원을 m 이라 할 때 Kalman loop에서 사용되는 각 변수의 의미와 그 행렬의 차원은 다음과 같다.

- X^- : priori estimated parameters $(n \times 1)$
- X : current estimated parameters $(n \times 1)$
- P^- : priori covariance matrix $(n \times n)$

1) 측정 데이터의 오차가 Gaussian분포를 가진다고 가정할 때 최적의 추정을 수행한다.

P : current covariance matrix	$(n \times n)$
H : transfer function	$(n \times m)$
K : kalman gain	$(n \times m)$
I : dynamic matrix	$(n \times n)$
Z : measurement vector	$(m \times 1)$
R : measurement error	$(m \times m)$
Q : plant noise	$(n \times n)$

각 측정치(Z)마다 한번씩 이러한 loop을 돌려가며 원하는 파라미터(X)를 구한다. 여기서 P 는 추정된 파라미터가 어느 정도의 오차를 포함하고 있는가를 나타내며 K 는 추정치 수렴 속도를 결정한다. R 은 측정치의 오차 정도, Q 는 모델 자체의 오차 정도를 표현하며 이는 초기에 사용자가 설정한다.

하지만 일반적으로 비선형식에서의 변수 추정이 요구되며 이를 위한 Kalman filter를 extended Kalman filter라고 한다. 이는 비선형식을 선형화 하는 작업을 거친 후 Kalman filter를 수행하는 것이다. 일반적인 비선형식을 보면

$$Z = f(X) + R \dots\dots\dots (2)$$

여기서 추정벡터 X 의 초기값 X^* 를 사용하면

$$\begin{aligned} \text{측정치 추정} &: Z^* = f(X^*) \\ \text{추정치 변화값} &: \Delta X = X - X^* \\ \text{측정치 변화값} &: \Delta Z = Z - Z^* \end{aligned}$$

따라서 식 (2)는 다음과 같은 식으로 변형시킬 수 있다.

$$\Delta Z = f(X) - f(X^*) + R \approx H(X^*) \Delta X + R \dots\dots\dots (3)$$

여기서 $H(X^*)$ 는 X^* 점에서의 f 의 미분 값이다. 결국 우리가 추정하려 하는 벡터 X 는 $X = X^* + \Delta X$ 로 구할 수 있다.

2. Kalman filter의 적용

우선 정밀 기하학적 보정에 Kalman filter를 적용하는 기본 식은 식 (2)로부터 다음과 같이 결정된다.

$$Z = f(\underline{X}, col, row) + R \dots\dots\dots (4)$$

위의 식에서 transfer function f 는 초기 기하학적 보정의 정함수 변환 함수로서 위성, 궤도, 자세, 지구 등을 수학적으로 모델링하여 영상의 각 화소에 해당되는 지상의 위치를 대응시키는 함수이다 (신동석, 이영란, 1997). 즉 원시영상의 특정한 화소 (col, row)와 위성의 위치, 속도, 자세 (\underline{X})를

입력 받아 그에 해당하는 지상의 위도, 경도 (Z)를 계산하는 함수이다. 기하학적 오차의 주 원인으로 정밀 보정에서 정확하게 추정하려는 파라미터는 영상 촬영 시 위성의 위치, 속도, 자세 오차이며 이는 시간의 변화율로 모델링한다.

$$\begin{aligned}
 X_{error} &= xs_0 + xs_1t + xs_2t^2 + \dots \\
 Y_{error} &= ys_0 + ys_1t + ys_2t^2 + \dots \\
 Z_{error} &= zs_0 + zs_1t + zs_2t^2 + \dots \\
 Vx_{error} &= vx_0 + vx_1t + vx_2t^2 + \dots \\
 Vy_{error} &= vy_0 + vy_1t + vy_2t^2 + \dots \dots \dots (5) \\
 Vz_{error} &= vz_0 + vz_1t + vz_2t^2 + \dots \\
 Ap_{error} &= ap_0 + ap_1t + ap_2t^2 + \dots \\
 Ar_{error} &= ar_0 + ar_1t + ar_2t^2 + \dots \\
 Ay_{error} &= ay_0 + ay_1t + ay_2t^2 + \dots
 \end{aligned}$$

따라서 Kalman filter를 사용해서 결과적으로 추정하려 하는 변수들은 식 (5)의 각 계수들이 된다 : $X = (xs_0, xs_1, \dots, ys_0, \dots, ay_0, ay_1, \dots)$. 시간에 따른 각 다항식의 차수는 각각 조절할 수 있도록 구현되었다. 추정하려 하는 파라미터 벡터를 이렇게 모델링 했을 때 식 (4)은 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$Z = f(X_{nominal}, X, col, row) + R \dots \dots \dots (6)$$

여기서 $X_{nominal}$ 은 정밀보정 전에 제공되는 위성의 위치, 속도, 자세 값들이며 X는 우리가 추정하려고 하는 식 (5)에서 정의된 각 계수가 된다. 또한 식 (6)에서 생략된 t값은 pushbroom형태의 영상 row로부터 유추될 수 있다.

식 (6)에 있는 transfer function은 비선형 함수이기 때문에 이를 Kalman filter에 적용시키려면 extended Kalman filter를 위한 선형화작업을 수행해야 한다. 우선 추정 파라미터 벡터의 초기값 X^* 을 중심으로 한 선형화를 수행한다 (식 (3)참조). 여기서 최초의 X^* 는 초기에 가정되는 추정 오차 X의 값으로서 이는 0이 된다. X^* 는 linearized Kalman filter일 경우 초기 값을 계속 유지하지만 extended Kalman filter일 경우 Kalman loop을 한 번 돌 때마다 $X^* = X^* + \Delta X$ 로 변화시켜 준다. 본 정밀보정 알고리즘에서는 extended Kalman filter를 사용한다.

ΔZ 는 다음과 같이 정의된다.

$$\Delta Z = Z - Z^* = Z - f(X^*) \dots \dots \dots (7)$$

여기서 Z는 측정된 지도 GCP의 위도, 경도이고 Z* 즉 $f(X^*)$ 는 현재 추정된 X^* 에서의 위도, 경도이다. 이 두 값의 차이 (ΔZ)를 Kalman filter의 measurement vector에 입력한다.

선형화에서 가장 중요한 것은 transfer function f의 미분 값 $H(X^*)$ 을 구하는 것이다. 이를 위한 한가지 방법은 transfer function f식의 각 파라미터에 대한 미분식 $H(X)$ 을 구하여 그 식에 X^* 를 대

입하는 방법이다. 이 방법은 가장 확실한 방법이지만 식 f 의 복잡성과 비선형성 때문에 (신동석, 이영란, 1997) 식 자체를 미분하는 것이 매우 어렵다. 본 정밀보정 알고리즘은 이를 해결하기 위해서 f 의 X^* 를 중심으로 한 미분 값 $H(X^*)$ 을 numerical한 방법으로 구한다 (Shin et al, 1997). 따라서 f 는 X 벡터의 각 변수에 의해서 미분 되며 식 (8)은 f 를 x_{s0} 에 의해 미분하는 예이다.

$$\frac{\delta f}{\delta x_{s0}} = \frac{f(X_{nominal}, x_{s0}^* + \Delta, x_{s1}^*, \dots, ay_0^*, \dots) - f(X_{nominal}, x_{s0}^*, x_{s1}^*, \dots, ay_0^*, \dots)}{\Delta} \dots\dots\dots (8)$$

식 (8)에서는 $X^* = (x_{s0}^*, x_{s1}^*, \dots, ay_0^*, \dots)$ 값을 중심으로 미분한 예이다. 여기서 Δ 는 아주 작은 값이며 이 값이 최소 극한 값으로 가면 식 (8)의 numerical differentiation은 analytic derivative과 똑같은 역할을 한다. 여기서 f 는 이미 초기 기하학적 보정용으로 구현되어 있는 함수이기 때문에, 식 (8)과 같이 파라미터 값을 조금 변화시키면서 쉽게 $H(X^*)$ 를 구할 수 있다.

3. Kalman filter의 초기화

Kalman filter에 사용되는 각 행렬 값을 초기화 하는 작업은 Kalman filter의 성공적이고 정확한 동작을 위해 매우 중요하다. 즉, 적절한 값으로 Kalman filter를 초기화 시키는 작업이 정밀 기하학적 보정 수행의 열쇠라고 할 수 있다. 하지만 이러한 초기 값들은 위성영상의 촬영 시, GCP 추출 시 많은 변수에 의해서 좌우된다. 따라서 이 절에서는 각 변수 결정 시 고려해야 할 사항들을 기술한다.

1) initial estimate vector

이는 우리가 추정하려고 하는 각 파라미터의 초기 값이다. extended Kalman filter를 사용하여 위성의 위치, 속도, 자세의 오차를 추정하기 때문에 이 값들은 0으로 지정해 주어야 한다.

2) initial covariance matrix

이것이 Kalman filter의 성공을 가름하는 가장 중요한 변수이다. 이 변수 값은 추정하려는 각 파라미터(오차의 원인)의 변위를 결정한다. 즉 각 파라미터가 어느 정도의 결과 값을 가질 수 있는지를 결정한다. 예를 들어 영상이 along-track방향으로 오차를 가지고 있을 때, 이는 다음의 두 가지 오차 원인 중 하나일 수 있다.

- 위성의 along-track 위치가 잘못 추정됨
- 위성자세 중 pitch가 큰 오차를 가짐

만일 pitch에 대한 covariance값을 실제 일어날 가능성이 있는 오차 값보다 훨씬 크게 지정해 주면 Kalman filter는 이에 따라 위성의 위치 보다는 pitch값에 더 무게를 두어 추정을 하게 된다. 따라서 오차 원인의 정확한 추정을 위해서는 각 오차 원인이 어느 정도의 값을 가질 수 있는지를 정확히 설정하는 것이 매우 중요하며 이에 따라 covariance행렬을 초기화시켜야 한다. 각 파라미터의

오차 범위는 위성의 자세제어 정확도, 궤도 결정 값의 정확도에 의존한다. 이 covariance matrix는 Kalman filter loop이 진행됨에 따라 차츰 0으로 수렴한다.

3) plant noise matrix

추정하려는 파라미터와 측정된 값은 transfer function으로 관계지어 진다. 이렇게 transfer function에 의해 세워진 모델 그 자체가 얼마나 오차를 가질 수 있는지를 plant noise에서 지정해 준다.

4) measurement error matrix

이는 측정치가 어느 정도 오차를 가질 수 있는가를 결정하는 행렬이다. 이 값은 영상의 해상도, 방사학적 질, GCP 추출 인터페이스의 정확/정밀도, GCP 추출자의 숙련도 등에 의하여 결정되어야 한다.

5) dynamic matrix

이 행렬은 Kalman filter의 큰 특징 중 하나인 시간에 따른 추정치의 변화를 다룬다. 하지만 본 정밀보정 알고리즘에서는 이미 추정될 파라미터가 시간의 다항식 형태로 모델링이 되었기 때문에, 이 행렬은 정방 단위행렬로 지정해 주었다.

IV. 성능 분석

본 논문에 기술된 정밀 기하학적 보정 알고리즘은 (신동석, 이영란, 1997)에 기술된 카메라 모델에 기초를 두고 있다. 이 카메라 모델을 이용한 초기 기하학적 보정을 수행한 결과 보정 후의 평균 오차는 1.5km, 표준 편차는 23.4m이다 (신동석, 이영란 1997). 여기서 평균오차는 위성의 궤도(위치 및 속도) 및 자세 오차에 기인하여 표준편차 오차는 1:50,000 축척 지형도에서 추출된 GCP 정확도의 한계에 기인하는 것으로 분석되었다. 정밀 기하학적 보정 알고리즘은 위성의 위치, 속도, 자세를 GCP로부터 최대한 정확히 추정, 결정하여 1.5km의 절대오차를 줄이는 것이 목적이다.

Figure 3는 개발된 정밀 기하학적 보정의 수행 결과를 보여 준다. Figure 3 (a)에서 보는 바와 같이 개발된 알고리즘은 GCP 2-3개를 사용하도 최종 보정 결과에 근접하는 매우 빠른 수렴 속도를 보여 주었다. Figure 3 (b)는 첫 번째 GCP를 사용하여 보정한 후부터의 결과를 확대해서 보여 주는데 이 그림에서 GCP의 대표성을 볼 수 있다. Figure 3 (b)는 보정에 사용된 GCP의 보정 결과와 사용되지 않은 GCP의 보정 결과를 함께 보여 준다. 여기서 보정에 사용되지 않은 GCP는 영상의 모든 다른 화소와 마찬가지로 QA를 위한 GCP이다. 결과에서 보듯 보정에 사용되지 않은 GCP의 결과도 보정에 사용된 GCP의 결과와 거의 비슷하다. 이는 개발된 정밀 기하학적 보정 알고리즘이 GCP 2-3개를 사용하여 영상 내의 모든 화소를 정확히 보정할 수 있다는 의미이며 영상 내의

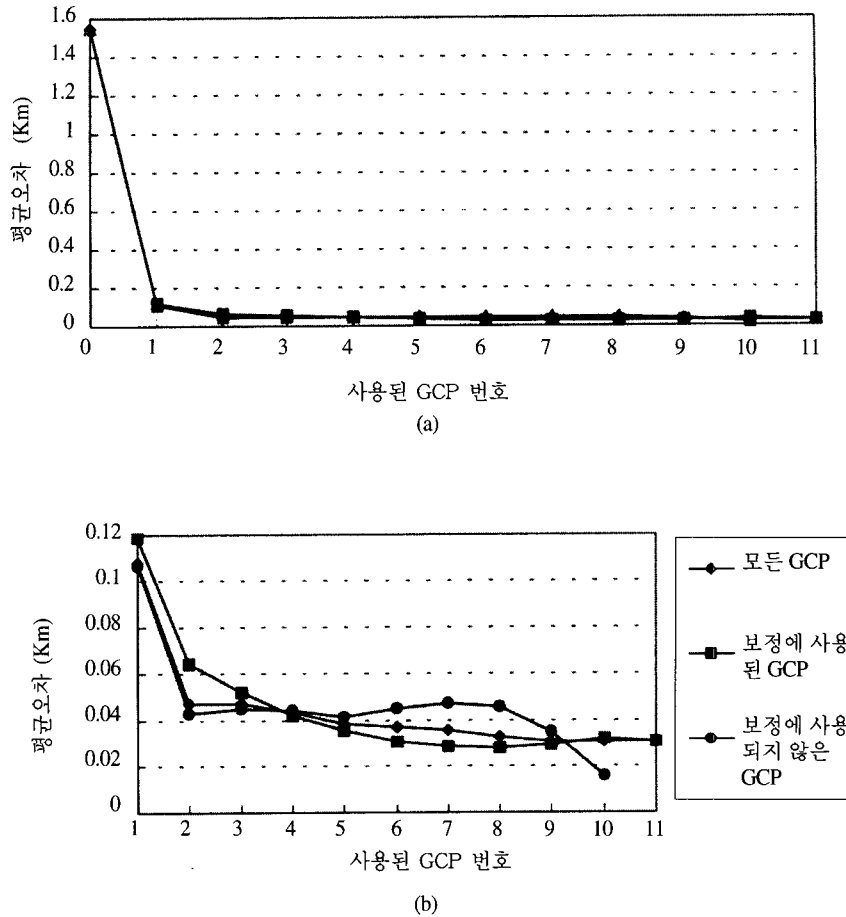


Fig. 3. Result of precision correction algorithm

아무 지역에서 GCP를 추출하여 이를 보정에 사용하여도 이 GCP는 매우 큰 대표성을 갖는다는 뜻이 된다. 약 30m의 최종 오차는 초기 기하학적 보정에서의 표준 편차 오차와 마찬가지로 추출된 GCP의 부정확성에 기인하는 것으로 판단된다.

Figure 4는 정밀 기하학적 보정에서 추정된 위성의 자세 오차와 위치 오차의 수렴과정을 보여 준다. Figure 3와 마찬가지로 빠른 속도로 최종 추정치로 수렴된다. 이렇게 얻어진 위성의 위치 오차는 궤도 전파에 사용되어 GCP를 추출할 수 없는 지역 영상의 정밀 기하학적 보정에 사용될 수 있다. 또한 여러 영상의 정밀 보정을 통해 구해진 정확한 자세 정보를 사용하여 위성 자세 제어의 정확도를 분석할 수도 있다. 만일 여러 영상을 통해 얻어진 자세 오차가 특정 값들을 중심으로 분포되어 있다면 그 특정 값은 위성과 센서와의 고정된 misalignment angle일 가능성이 크다 (신동석, 이영란, 1997).

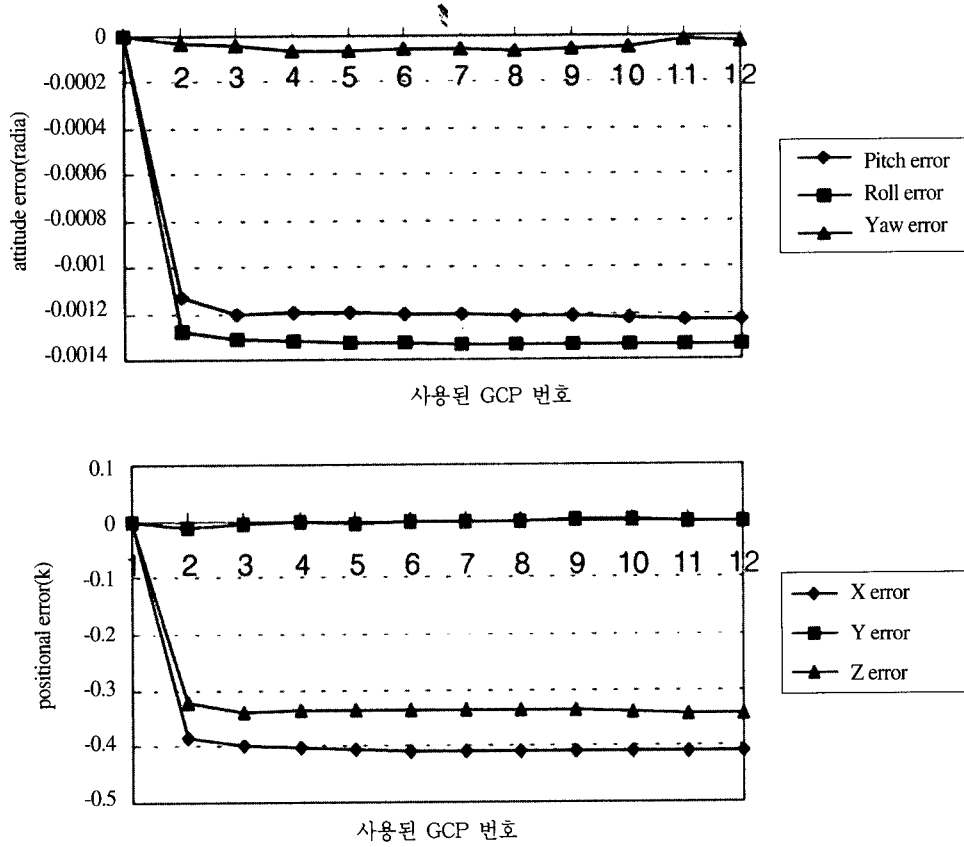


Fig. 4. Estimated parameters

V. 결론 및 토의

본 논문에서는 고해상도 위성 영상의 정밀 기하학적 보정 알고리즘에 대하여 기술하였다. 개발된 알고리즘은 매우 큰 정확성과 수렴 속도를 보여 주었고 GCP 2-3개 만으로도 영상을 정밀하게 보정할 수 있었다. 또한 보정 후 위성의 정확한 위치 오차 및 자세 오차를 추정할 수 있었다. 개발된 알고리즘은 우리별 3호, 다목적실용위성 등의 국내 개발 고해상도 위성영상의 전처리에 사용될 예정이며 특히 위성영상 수신, 처리, 분배 지상국의 운용에 매우 유용할 것이다.

정밀 보정 뿐 아니라 다른 원격탐사 연구분야에서 가장 필요한 것은 정확한 GCP를 확보하는 것이다. 이는 각 연구기관이 산발적으로 수행해서는 매우 비효율적이며 국가차원에서 통일되고 검증된 방법으로 GCP 데이터베이스 구축 작업을 수행해야 한다고 판단된다.

본 논문에서는 30~40m의 오차를 내포하는 1:50,000 기준 지형도를 사용하여 알고리즘을 시험하

였다. 그 이유는 제안된 알고리즘이 오차를 포함한 GCP들에 대한 민감성을 파악하는 것이었으며 결과적으로 제안된 알고리즘이 GCP의 오차에 민감하지 않고 안정된 수렴성을 보여주는 것을 확인할 수 있었다. 따라서 실제적으로 차후에는 보다 정밀한 지도(1:5,000 등)나 GPS측량에 의한 보다 정확한 GCP를 사용하여 알고리즘의 비교검증을 수행할 예정이다.

참고문헌

- 신동석, 이영란, 1997. 선형 CCD 카메라 영상의 기하학적 모델 수립 및 좌표 변환, *대한원격탐사학회지*, 13(2):85-98
- Brown, R. G. and P. Y. Hwang, *Introduction to Random Signals and Applied Kalman Filtering*, New York : Wiley
- Chang, D., J. Liu, Y. Jiang, and H. Li, 1990, Geometric correction with photographic model for satellite remote sensing images, *SPIE Digital Image Processing Visual Communications Technology, Earth Atmospheric Science*, 8(4):162-171
- Lee, S., D. Shin, D.K. Sung and S.D. Choi, 1996. KITSAT-3 Image Data Acquisition, Preprocessing, Archiving and Distribution, *Proceedings of International Symposium on Remote Sensing*, 287-292.
- Shin, D., J. K. Pollard, and J-P Muller, 1997, Accurate Geometric Correction of ATSR Images, *IEEE T. Geoscience and Remote Sensing*, 35:(4)997-1006