

근거리 수치사진측량 과정의 단일 통합환경 구축에 관한 연구

A Study on the Integrated System Implementation of Close Range Digital Photogrammetry Procedures

유복모 * 이석군 ** 최송욱 *** 김의명 ***
Yeu, Bock Mo Lee, Suk Kun Choi, Song Wook Kim, Eui Myoung

ABSTRACT

For the close range digital photogrammetry, multi-step procedures should be embodied in an integrated system. However, it is hard to construct an integrated system through conventional procedural processing. Using Object Oriented Programming(OOP), photogrammetric processings can be classified with corresponding subjects and it is easy to construct an integrated system for digital photogrammetry as well as to add the newly developed classes. In this study, the equation of 3-dimensional mathematic model is developed to make an immediate calibration of the CCD camera, the focus distance of which varies according to the distance of the object. Classes for the input and output of images are also generated to carry out the close range digital photogrammetric procedures by OOP. Image matching, coordinate transformation, direct linear transformation and bundle adjustment are performed by producing classes corresponding to each part of data processing. The bundle adjustment, which adds the principle coordinate and focal length term to the non-photogrammetric CCD camera, is found to increase usability of the CCD camera and the accuracy of object positioning. In conclusion, classes and their hierarchies in the digital photogrammetry are designed to manage multi-step procedures using OOP and close range digital photogrammetric process is implemented using CCD camera in an integrated system.

요 요

사진측량 과정은 단위연구를 중심으로 독립적으로 수행되고 있으나 종합적이고 체계적인 연계 및 이용을 위해서는 전체를 통합하는 기반환경의 조성이 필요하다. 기존의 절차형 방식의 처리과정을 통해서는 통합환경으로 구현하기가 어려우나, 객체지향기법으로 주제별로 클래스화 할 경우, 통합환경의 구현 뿐만 아니라 새로운 변경요소나 연구성과의 갱신이 용이하다. 본 연구에서는 객체지향기법으로 근거리 수치사진측량 과정을 수행하기 위해 자료입력부분에서는 사진을 수치영상으로 그 개념과 특성을 확장하여 영상의 입출력에 대한 클래스를 제작하였고 자료처리부분에서는 3차원 렌즈검정모형식으로 검정을 거친 영상에 대해 자료 처리 각 부분에 대한 클래스를 제작하여 영상정합과 좌표변환을 실시하였다. 또한 대상물의 3차원 위치를 결정하기 위해 직접선형변환과 광속조정법을 클래스화하여 사진상의 대상물과 지상물체의 관계를 모형화하였다. 본 연구의 결과, 수치사진측량 과정의 각 주제에 대해 객체지향기법으로 다단계 처리를 할 수 있는 클래스를 설계하고, 클래스들의 계층도를 구축, 수치사진측량을 위한 단일 통합환경을 구현하였고, CCD 사진기에 대한 3차원 렌즈 검정 모형식의 개발을 통해 근거리 사진측량을 수행하여 단일 통합환경에서 각각의 방법으로 대상물의 3차원 좌표를 추출할 수 있었다.

* 연세대학교 토목공학과 교수

** 연세대학교 산업기술연구소 전문연구원

*** 연세대학교 토목공학과 박사과정

1. 서 론

사진기의 발명과 더불어 발달하기 시작한 사진측정학은 기계적 사진측량단계로부터 시작하여 해석사진측량 및 수치사진측량으로 점점 발전되어 나가고 있다.

수치사진측량은 전산기술의 발달과 더불어 그 가능성과 실현성을 넓혀가고 있으며, 특히 사진측량의 일련의 과정에 대한 자동화를 목적으로 연구가 진행되어, 관측과정의 자동화와 실시간 3차원 측량기법 개발 등이 활발히 이루어지고 있다.

전반적인 사진측량의 과정은, 대상점의 관측, 즉 대상점의 선정, 검색, 위치결정의 순서로 진행되며 이때 관측된 값은 공선조건과 같은 기하학적 조건을 이용하여 수립된 수학적 모형의 변환계수에 적용되어 그 변환계수를 결정하므로써 특정한 수학적 모형을 결정하게 된다. 이와 같은 수학적 모형을 결정하는데 있어 관측값을 이용하여 그 정확도를 향상시킬 수 있으며 일반적으로 최소제곱법과 같은 통계학적 방법에 의해 조정을 행한다.¹⁾

위의 수학적 모형식에서 많은 과정들은 행렬 사이의 연산으로 처리되어 지게 되며 행렬의 구성과 그 행렬의 처리가 여러 가지 과정의 그 기반이 된다. 또한 처리과정의 각각 마다 고유의 연산과정을 가지므로 수치사진측량의 각 과정에 대한 계층도를 만들어 공통적으로 사용하는 부분과 고유 연산과정들의 각각을 분리하면 프로그램 전반에 관한 골격을 형성할 수 있다. 그리하면 각 과정들이 분리됨으로서 알기 쉽고 명확하게 되어 직관적인 이해성을 높일 수 있다.

이를 위해서는 사진취득으로부터 시작되는 종래의 사진측량처리와 전과정을 영상취득과 수치처리를 통한 영상개선, 좌우 영상으로 부터의 공액점 자동 추출, 이와 동시에 관측점의 3차원 위치의 추출에 관한 연구가 필요하다. 이들을 객체지향개념으로 수치사진측량 각각의 주제에 대한 클래스를 제작 단일 통합환경을 구축하여, 휴대가 간편하고 경제적인 PC 상에서 모든 처리가 이루어지면 실시간 수치사진측량이 가능하게 된다.²⁾

2. 연구수행과정

2.1 연구방법

본 연구에서는 CCD(Charge-Coupled Device) 사진기를 이용하여 근거리 수치사진측량 과정을 수행하기 위해 객체지향 기법을 사용하여 수치사진측량의 각 과정을 클래스라는 사용자 정의 자료형으로 계층화를 이루고 이들을 연결시켜 주제별로 각각의 모듈을 작성한다.

그 모듈의 구성요소로는 촬영된 사진을 영상으로 변환하는 과정, 영상좌표를 사진좌표로 바꾸는 변환과정, 휴변환(hough transformation)을 통한 사진지표의 좌표값을 결정하는 과정, 좌우영상에서 공액점(conjugate point)을 찾기위한 정합과정, 공액점들의 좌표와 공선조건식을 통한 촬영점의 위치를 결정하는 후방교선법(resection) 과정과 이를 통한 관측점의 3차원 위치를 결정하는 전방교선법(intersection) 과정 등이 있으며 이와 같은 모듈을 완성시키기 위해 수치영상처리 및 휴변환 클래스, 좌표변환 및 영상정합 클래스, 후방교선법 클래스, 전방교선법 클래스 등을 설계한다.

아울러 이와 같이 설계된 모듈들을 통합하여 실시간 수치사진측량 과정이 수행될 수 있는 단일 통합환경을 구축한다.

개발된 클래스들을 적용시키기 위해 그림 2.1과 같이 CCD 사진기를 이용하여 영상을 취득하고 3차원 위치결정까지의 전과정을 PC 상에서 처리하여 실시간 수치사진측량이 가능하도록 한다.

CCD 사진기의 경우, 사진측량용 사진기와는 달리 영상에 대한 검정용 계수나 사진지표가 존재하지 않으므로 이에 대한 검정이 필요하다. 본 연구에서는 3차원 모형식을 개발하여 수치영상에 대해 검정된 영상좌표를 구한 다음 취득된 좌우 영상에 대해 상관계수법으로 영상정합을 실시하여 좌우영상의 공액점을 추출하고 좌표변환식과 렌즈왜곡검정계수를 이용하여 좌우영상의 영상좌표로부터 사진좌표를 결정한다.

위와 같이 결정된 사진좌표를 바탕으로 직접선행변

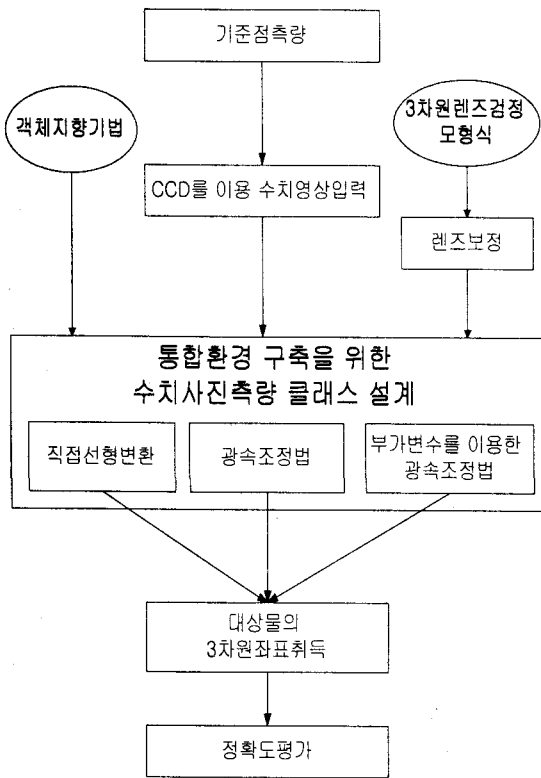


그림 2.1 본 연구의 근거리 수치사진측량 수행과정

환과 광속조정법으로 각각 근거리 사진측량을 실시하여 대상물에 대한 3차원 위치정보를 산출하고, 위치결정에 따른 정확도를 비교 분석한다.^{3), 4)}

또한 일반적으로 제작된 CCD 사진기의 측량용으로서의 활용성과 실시간 사진측량의 가능성을 높이고 대상물의 3차원 위치결정의 정확도를 높일 수 있도록 CCD 영상 취득당시의 영상의 주점좌표 이동량과 촬영시의 렌즈의 초점거리에 대한 검정항을 더한 광속조정법을 개발하여 그 효과를 검증한다.

2.2 연구범위 및 제한사항

본 연구에서는 CCD 사진기를 이용하여 객체지향기법으로 이루어진 통합 환경에서 근거리 수치사진측량 과정을 수행하기 위해 다음과 같은 연구 범위 및 제한 사항 하에서 연구를 수행한다.

1) CCD 사진기는 초점거리 16 mm 이며, 최대 811 × 508 영상소를 취하고 사용한 영상보드에서는 640 × 480 의 영상으로 재배열된다. 따라서 하드웨어상의 영상재배열로 인해 발생하는 오차는 고려하지 않는다.

2) 사진지표가 제공되는 경우를 고려하여 휴변환 클래스를 구성하였으며, 휴변환은 사진지표가 없는 CCD 사진기를 이용한 본 연구에서의 적용 결과 분석에는 포함하지 않는다.

3) 영상정합방법으로는 대상물의 모양이 일정한 관측 모형의 특성을 고려하여, 정합점 부근의 일정 면적에 대해 두 영상의 밝기값을 비교 영상정합을 행하는 상관계수법을 사용한다.

4) 부가 광속조정법에서 부가항은 초점거리 검정항과 주점이동량만을 고려하고 렌즈검정에 관한 항은 렌즈검정 모형식에 포함시켜, 근거리 수치사진 측량과정의 정오차에 대한 검정항을 각각 분리하여 계산한다.

3. 근거리 수치사진측량 통합환경 구축

사진측량 과정에서의 연구성과는 단위연구를 중심으로 독립적으로 개발되고 있으나 근거리 수치사진측량 전체의 체계적이고 통합적인 체계가 아니므로 종합적이고 체계적인 연계 및 이용을 위한 기반환경의 마련이 필요하다.

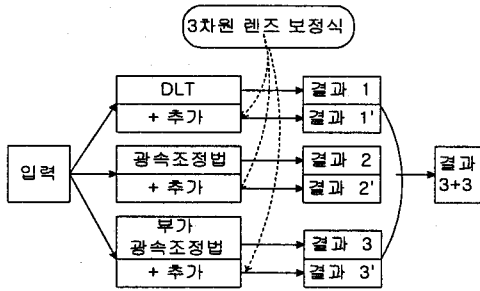
이를 위해, 본 연구에서는 수치사진측량 과정의 각 주제에 대하여 객체지향기법으로 다단계 처리를 할 수 있는 클래스를 설계하고, 이들 클래스들의 계층도를 구축하여 수치사진측량을 위한 단일 통합환경을 구현하였다. 또한, CCD 사진기에 대해 3차원 렌즈검정모형식을 개발하여 현장에서 신속하게 처리결과를 얻을 수 있도록 하였다.

3.1 객체지향기법에 의한 수치사진측량 통합환경

3.1.1 절차형 방법과 객체지향방법의 비교

객체지향설계는 클래스와 그 클래스들 간의 계층구조를 확립하는 것으로 각 클래스는 자료 속성(attribute)와 행동양식(method)이 함께 정의된 모듈이다. 기존의 절차형방법(procedural method)과 객체지향방법(object-oriented method)을 비교하면 그림 3.1과 같다.

절차형 방법



객체지향 방법

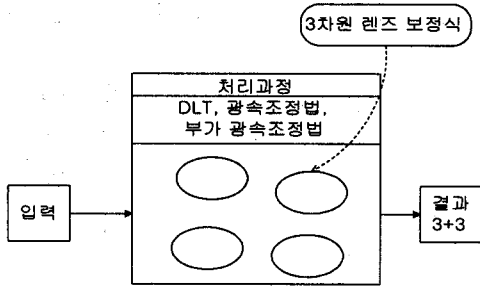


그림 3.1 절차형 방법과 객체지향방법의 비교

절차형 방법에서는 n 개의 처리과정이 독립적으로 존재하여 n 개의 처리결과를 얻기 위해서는 n 개의 독립된 프로그램이 필요하게 된다. 여기에 새로운 연구성과나 변경요소가 추가되면 또 n 개의 결과가 나오고 그 결과 독립된 2n 개의 독립환경이 존재하게 된다.

이에 대비해 객체지향개념에서는 각 처리과정들을 하나의 통합환경으로 하여 관련이 큰 것끼리 주제별로 클래스로 묶으면 하나의 통합환경에서 n 개의 처

리결과가 나오고 여기에 변경요소가 추가되면 통합환경에 하나의 클래스로 추가된다. 그리하여 하나의 통합환경에서 2n 의 처리결과를 얻을 수 있다.

근거리 사진측량의 관측값 처리를 위해 직접선형변환, 광속조정법, 부가 광속조정법으로 3차원 좌표값을 구하기 위해서는 기존의 절차형 방식에서는 3개의 독립된 프로그램이 필요하다. 여기에 실시간 현장 측량을 위해 본 연구에서 개발한 3차원 렌즈 검정 모형식이 각각의 경우에 적용되면 또 3개의 독립환경이 추가되고 그러면 6개의 개별 독립환경이 존재하게 된다.

객체지향개념으로 사진측량과정을 수행하면 각 처리과정들을 하나의 통합환경으로 하여 관측값 처리과정을 클래스로 재구성할 수 있어 3개의 독립 프로그램이 아니라 하나의 통합환경이 구축되고 여기에 새로운 연구성과가 클래스로 추가되면 또 하나의 갱신된 하나의 통합환경에서 위의 과정을 수행할 수 있다.

이와 같이 객체지향기법으로 근거리 수치 사진측량과정을 구성함으로써 연구성과의 축적이 계속될수록 독립환경의 수가 늘어나는 것이 아니라 새로운 클래스의 추가로 기존의 통합환경에서 계속적인 연구성과의 축적이 가능하게 된다.

3.1.2 근거리 수치사진측량 통합환경의 구현

객체지향설계방법은 먼저 클래스를 인식하고, 정의하고, 구성하는 법칙을 세우고 이를 통해 클래스를 구성하며 이렇게 구현된 클래스나 객체를 사용하여 새로운 클래스를 유도하거나 요구조건에 맞게 수정을 행하여 클래스 전체의 계층도를 완성하는 것이다.

근거리 수치 사진측량 과정을 완성하기 위해서는 CCD 사진기를 이용하여 영상을 취득하는 과정, 취득된 영상을 BMP 형식 및 수치영상처리를 위한 RAW 파일 등의 형태로 변환하는 과정, 영상으로 변환시킨 다음 영상좌표를 사진좌표등의 형태로 바꾸는 좌표 변환과정, 취득된 영상의 왜곡을 검정하는 과정, 휴 변환을 통해 사진지표의 좌표값을 결정하는 과정, 좌우 영상에서 같은 점을 찾기 위한 표정과정, 공액점들의 좌표를 결정하고 이를 이용 촬영점의 위치를 결정하는 후방교선법과정과 이를 통한 관측값의 3차원 위치를 결정하는 전방교선법과정 등이 필요하다.

이와 같은 과정을 객체지향개념으로 설계하기 위해서는 각각의 주제별로 클래스를 제작하여야 한다. 이를 위해 본 연구에서는 수치영상 취득, 수치영상 처리 및 휴 변환, 좌표변환 및 영상정합, 후방교선법, 전방교선법 등의 클래스를 작성하고 이들의 계층도를 확립하였다.

수치사진측량 통합환경을 구축하는 데 있어 가장 먼저 영상은 수치화되어 처리되어야 하며 이는 영상을 행렬의 형태로 나타내어 처리해야 함을 의미한다. 또한 관측값 처리의 수학적 모형식에서 직접선형변환, 광속조정법 등은 최소제곱조정으로 관측값 처리를 행하게 되고, 처리 과정의 대부분이 행렬의 연산으로 이루어져 행렬의 구성과 그 행렬의 처리가 관측값 처리 과정의 그 기반이 된다. 따라서, 본 연구에서는 행렬의 구성요소 및 연산과정을 독립된 클래스로 구성하여 행렬사이의 연산과 전치행렬, 역행렬 등의 연산과정을 행렬 클래스를 통해 이루어 지도록 하였으며 행렬의 연산과정을 수치사진측량 고유의 연산과정들과 분리하였다. 행렬의 구성과 그 행렬의 처리가 여러 가지 클래스의 그 기반이 되므로 이를 상위 클래스로 두고 여러 가지 처리연산과정을 상위클래스로부터 상속을 받아 처리하는 형태로 설계하였다.

사진의 회전요소(k, ψ, ω)에 대해서 사진의 회전요소 클래스를 만들어 행렬의 연산기능들은 행렬 클래스에서 제공받으며 회전행렬 클래스에서는 회전요소만의 식으로 이루어 지도록 구성하였다. 직접선형변환에서는 좌표입력부분을 별도로 분류하였고 광속조정법에서는 후방교선법 부분과 전방교선법 부분을 분리하여 각각의 과정만을 수행할 수 있도록 하였으며 대상물의 3차원 좌표를 얻기 위한 광속조정과정으로는 관련 클래스들을 연결하여 처리할 수 있도록 각각의 클래스들을 작성하고 이들의 계층도를 구성하였다. 이와 같이 계층관계를 명시함으로써 프로그램 전반에 관한 골격을 형성할 수 있게 되어 프로그램을 알기 쉽고 명확하게 하여 직관적인 이해성을 높일 수 있다. 클래스 상속을 통해 추가적인 기능만을 덧붙일 수 있으므로 재사용성이 증대되며, 구축된 계층구조에서 가장 적합한 클래스들을 선택하여 그들의 새로운 하위

클래스를 설정하고 여기에 새로운 자료구조나 행동양식을 첨가하거나 대치하여 새로운 클래스들을 계속적으로 구축해 나갈 수 있게 된다.

근거리 수치 사진측량 각 과정에 대해 주제별로 분류하여 클래스를 구성하고 각 처리과정별로 계층도를 만들어 공통적으로 사용하는 부분과 고유 연산과정들의 각각을 분리하였고 이들 클래스들의 집합으로 단일 통합환경을 구축하였으며 이는 그림 3.2와 같다. 본 연구에서는 관측값 처리를 위해 행한 직접선형변환, 광속조정법, 부가 변수를 고려한 광속조정법으로 결과값을 얻기 위해 절차형 방식에 의한 각각의 독립적인 개별 프로그램이 아닌 객체지향개념에 의한 단일 통합환경에서 클래스의 구성을 달리함으로써 구현할 수 있었다.

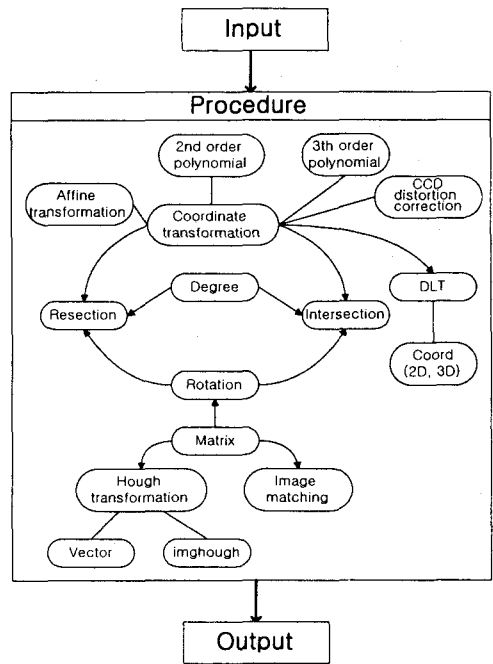


그림 3.2 수치사진측량 클래스 계층도

본 논문에서 구성한 클래스는 표 3.1과 같다.

4. 적용 및 분석

표 3.1 클래스구성과 내용

클래스 명	내용
Deg2Dms	각도 표현방법
Dms2Deg	각도 표현방법
Deg2Rad	각도 표현방법
Matrix	행렬식 계산
Rotation	사진의 회전요소 변환
Collinear	공선조건식을 이용한 좌표변환
Resection	후방교회법
Intersection	전방교회법
hough transformation	휴변환
imgough2	휴변환
vector	휴변환
DLT	직접선형변환
Relative	상호표정
Absolute	절대표정
ModelConnection	모델접합
Bmp	Bmp 파일 입출력
RawImage	Raw 파일 입출력
Bmp2Image	Bmp 파일을 Raw 파일로 변환
Resampling	영상재배열

4.1 실험모형 및 영상 취득

통합환경에서 실시간 근거리 사진측량 과정을 수행하

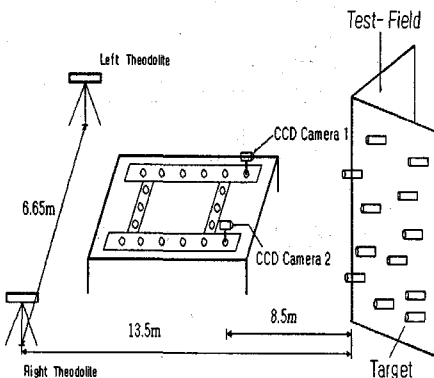


그림 4.1 실험모형

기 위해 본 연구에서는 그림 4.1과 같은 3차원 관측모형을 제작하였으며, 촬영모형과 취득영상은 그림 4.2와 같다.

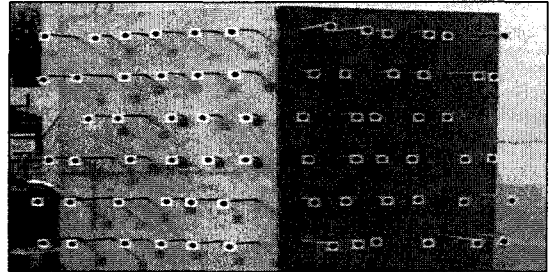


그림 4.2 취득영상

본 연구에서 사용된 CCD 사진기는 일반용으로 근거리 사진측량에 적용하기 위해서는 렌즈의 방사 및 편심방향왜곡을 엄밀하게 검정하여야만 정확한 결과를 도출할 수 있다.

실험모형을 제작하여 CCD 사진기를 이용하여 수치영상을 취득하고 그림 4.3의 과정으로 CCD 사진기의 렌즈검정을 행하였다.⁷⁾

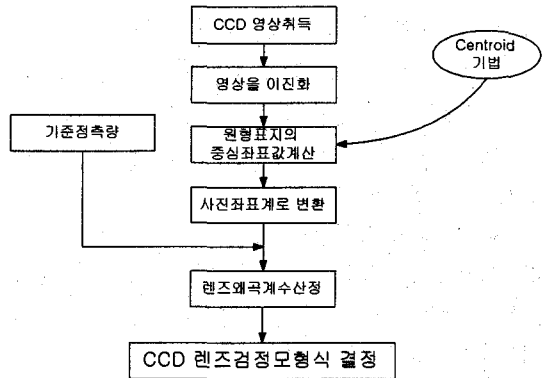


그림 4.3 CCD 렌즈검정모형식 결정과정

본 연구에서는 현장에서 신속하게 렌즈검정을 행할 수 있도록 3차원 실험모형에 대하여 기준점에 대한 영상소좌표를 취득하였으며 기준점측량에 의하여 실험모형의 3차원 좌표를 얻었다.

본 연구에서는 영상정합을 위해 좌측영상을 기준영

역으로 설정하고 우측영상에 탐색영역을 설정한 다음, 그 영역 내에 있는 영상소의 밝기값 분포를 비교하여 정합점을 탐색하는 영역적 영상정합방법을 이용하였다.⁶⁾

좌우영상의 상관성은 두 영역의 유사성을 나타내는 상관계수를 통계적으로 처리하여 유추하였으며 상관계수법을 이용하여 정합점을 탐색하였고, 각 정합점을 기준영역의 중심으로 설정하였다. 기준영역의 크기는 영상을 나타내는 표지를 고려하여 11 영상소 × 11 영상소로 설정하였으며 탐색영역의 크기는 41 영상소 × 41 영상소 크기로 하여 실험을 수행하였다.

4.2 대상물의 3차원 위치결정

대상물의 3차원 위치결정에 있어 본 연구에서는 관측점의 정확도를 비교하기 위하여 직접선형변환식과 광속조정법을 이용한 경우를 비교하였으며, CCD 특성에 따른 부가항을 추가한 광속조정법을 개발하여 각각의 경우에 있어서 좌표결정의 정확도에 대해 비교 분석하였다. 앞의 관측모형에서 잉여관측값을 포함하여 임의로 16개의 점을 기준점으로 선택하였으며, 그 외의 점은 대상물의 3차원 위치의 정확도를 평가하는 검사점으로 활용하였다.

4.2.1 직접선형변환을 이용한 대상물 좌표 취득

객체지향개념에 의한 직접선형변환 수행과정은 그림 4.4와 같다. 모두 11개의 직접선형변환계수를 구하기 위해서는 최소 6개의 측점이 필요하며 정확도를 고려하여 8개의 측점을 잉여관측값으로 추가하였다.

관측된 측점의 영상소좌표와 기준점측량성좌표에 최소제곱법을 적용하여 직접선형변환계수를 구하였으며, 구해진 왜곡계수들을 이용하여 대상물의 3차원 위치를 결정하였다.

4.2.2 광속조정법을 이용한 대상물 좌표 취득

취득된 수치영상에 대하여 대상물의 3차원 위치를 구하기 위해 관측된 측점의 영상소좌표와 기준점측량성좌표를 광속조정법에 적용하여 외부표정요소를 구하였다. 객체지향개념을 이용하여 광속조정법을 수행하

는 과정은 그림 4.5와 같다.

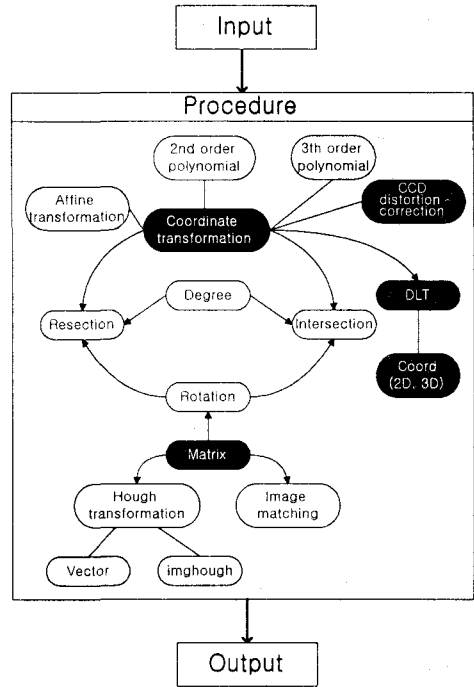


그림 4.4 객체지향개념에 의한 직접선형변환 수행과정

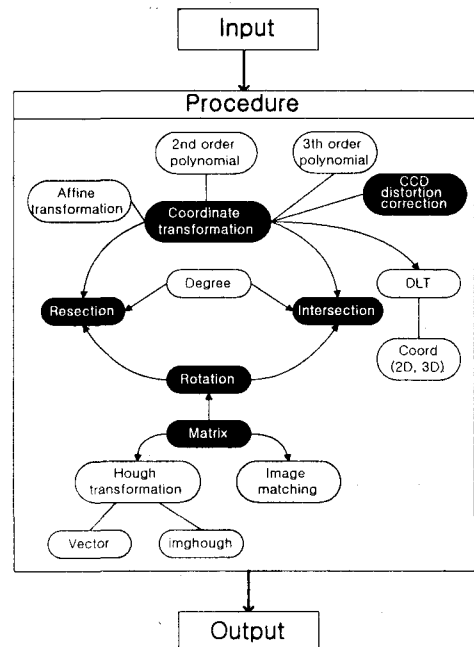


그림 4.5 객체지향개념에 의한 광속조정법 수행과정

4.2.3 CCD 특성에 따른 부가항을 추가한 광속조정법을 이용한 대상물 좌표 취득

CCD 사진기는 일반적으로 근거리 사진측량에 적용하기 위해서는 렌즈의 왜곡을 검정하여야 하며 검정을 거친 후 실제로 촬영을 행할 시 비측량용이므로 사진측량에 필요한 사진지표가 없어 사진촬영시의 주점좌표를 정확히 구할 수 없으므로 이에 대한 검정항을 추가하였다. 본 연구에서 사용한 관측모형의 경우 공선조건식에 검정항을 추가하여 계산한 결과 좌측영상에서는 주점이동량은 $l_{xp} = 3.3431$, $l_{yp} = 0.2850$ 이며 우측영상에서는 $l_{xp} = 3.2967$, $l_{yp} = 0.3427$ 을 얻을 수 있었다. 그리고 영상취득시 선명한 영상을 얻기 위해 CCD 렌즈초점의 미세한 변화가 동반되며 따라서 영상취득시의 정확한 초점거리를 알기위해 초점거리 검정항을 추가하여 공선조건식에 적용하면 위치결정의 정확도를 높일 수 있다. 이에 대한 검정항을 추가하여 계산한 결과 좌측영상의 경우 초점거리 $l_{focal} = 13.3450$, 우측영상의 경우 초점거리 $r_{focal} = 15.1049$ 의 값을 얻었다.

DLT 법과 광속조정법 그리고 CCD 특성에 따른 부가항을 추가한 광속조정법의 경우에 대하여 선정된 대상점의 지상좌표를 간접삼각측량방법으로 구한 관측값을 기준으로 평균제곱근 오차를 산정하였으며 그 결과는 표 4.1과 그림 4.6과 같다.

4.3 비교고찰

본 연구에서는 수치사진측량과정을 각각의 주제별로 분류하여 클래스를 제작하고 이들 클래스의 계층도를 구축하여 단일 통합환경을 구현하였다. 또한 이를 기반으로 하여 CCD 사진기와 PC를 이용하여 수치영상을 취득하고 현장에서 관측값 처리를 행하여, 직접선형변환, 광속조정법 과정을 독립적인 개별 프로그램이 아닌 단일 통합환경에서 클래스의 구성을 달리함으로써 구현할 수 있었다. 기존 절차형방법과 본 연구에서 행한 객체지향방법의 비교는 표 4.2와 같다.

표 4.1 각 경우에 대한 좌표값의 표준오차

방법 \ 방향	DLT	BUNDLE	
		normal	self calibration
X(mm)	27.8639	9.2533	6.3480
Y(mm)	31.2488	9.4331	7.1893
Z(mm)	22.2792	20.4891	15.1427

표 4.2 절차형 방법과 객체지향방법의 비교

방법 \ 특징	기존의 방법 (절차형 방법)	본 연구의 방법 (객체지향 방법)
구경물경 (System)	DLT, BUNDLE, 부가 BUNDLE 2 (3차원 렌즈보정식) 6개의 독립물경	수치사진측량 통합물경
개체물경 (Normal data)	좌표변환, 3차원 렌즈보정식 계산과정이 독립물경마다 중복	좌표변환, 3차원 렌즈보정식 클래스의 지사용
특성점 (Extremal data)	6개의 독립물경 2(실시간 GPS 측량연구성과) 12개의 독립물경	기본된 통합물경 실시간 GPS 측량연구성과 새로운 하나의 통합물경

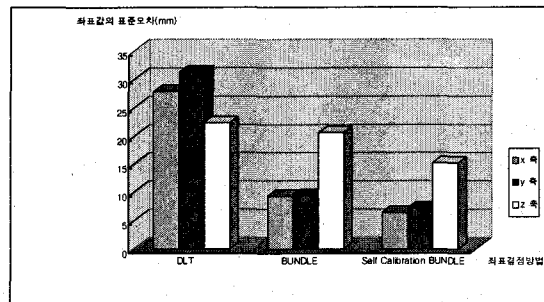


그림 4.6 각 경우에 대한 좌표값의 정확도 비교

영상취득에 있어 CCD 사진기는 측량용이 아닌 일반용 사진기이므로, 16mm CCD 사진기 영상에 대해 사진기의 왜곡 검정을 실시하였다. 기존의 2차원 CCD 스캐너 검정모형식에서 근거리 사진측량에서는 미치는 영향이 미세하고 잉여 매개변수의 발생을 방지하기 위해 기존의 평면 CCD 센서 렌즈왜곡검정계수항의

P_3, P_4 와 CCD 센서의 이동항 a_1, a_2, a_3 을 소거하고⁷⁾, 현장에서 렌즈검정을 수행하기 위해 좌표변환식에 Z 항을 추가하여 3차원으로 모형식을 구성하였다. 이와 같이 결정된 3차원 렌즈왜곡 검정식을 이용하여 CCD 영상에 대해 검정된 영상좌표를 얻을 수 있었다.

그리하여, 필름으로 대상물을 촬영하고 이를 인화한 후, 스캐너를 이용하여 영상을 수치화하는, 여러 단계의 수치화 과정을 거치게 되는 수치측량기법에서 발생할 수 있는 오차요인을 최소화할 수 있어, 비측량용인 CCD 사진기의 측량용으로서의 활용성을 높일 수 있었다.

CCD 사진기를 이용하여 근거리 사진측량을 실시할 때 영상의 제한된 해상력이 위치결정의 정확도를 저하시키는 주된 원인이 되며 대상점이 왜곡된 영상으로 나타났을 때는 대상점이 잘못 정합되는 경우등의 오차가 발생할 수 있다. 영상의 관측정확도는 수치영상의 해상도에 의해 결정되므로, 제한된 해상도상에서 관측의 정확도를 높이기 위해 지표의 중심을 부영상 소단위까지 구하여 좌표를 결정하였다.

검정된 영상에 대해 영상정합을 실시한 결과, 대부분의 상관계수값이 0.9 이상으로 정합이 잘 이루어졌으며, 영상을 육안으로 확인한 결과 긍정적으로 평가되었는데 이는 방사방향의 왜곡이 많이 일어나지 않아 원형지표가 좌측과 우측에서 거의 동일한 모습이기 때문으로 판단된다.

본 연구에서 사용된 CCD 사진기는 811×509 영상소의 영상을 취득할 수 있으나, 영상보드가 지원하는 최대 해상도는 640×480 영상소이기 때문에, 이러한 영상을 전산기상의 모니터로 표현하기 위한 영상재배열 과정에서 오차요인과 왜곡이 발생하며 위치결정의 정확도에 영향을 미친다고 판단된다. 위에서 결정된 왜곡검정모형식을 이용하여 CCD 사진기를 검정하고 그 다음 근거리 사진측량을 실시하여 대상물의 3차원 절대좌표를 직접선형변환법과 광속조정법으로 구한 결과를 비교하였다. 또한 위치결정의 정확도를 높이기 위해, 본 연구에서 개발한 CCD 사진기의 특성에 따른 주점좌표와 초점거리에 대한 검정항을

포함하는 부가매개변수를 더한 광속조정법으로 구한 결과와 비교하였다.

본 연구에서 사용된 CCD 사진기의 초점거리(f)는 16mm로 f 와 촬영거리(L)을 이용하여 영상의 크기를 결정하였으며, 가로와 세로의 길이를 640과 480DML 영상으로 나누어 한 개의 영상소가 차지하는 촬영 범위를 결정하였다. 사진좌표의 계산은 (320, 240)을 원점으로 하여 계산하였다.

직접선형변환법의 경우, 지상좌표의 평균제곱근오차는 $s_x = 27.86$ mm, $s_y = 31.24$ mm로 평면오차가 $s_p = 41.85$ mm였으며 높이오차는 $s_z = 22.27$ mm이었다.

광속조정법으로 조정한 경우, 지상좌표의 평균제곱근오차는 $s_x = 9.25$ mm, $s_y = 9.43$ mm로 평면오차가 $s_p = 13.21$ mm였으며 높이오차는 $s_z = 20.48$ mm이었다. 광속조정법의 경우가 직접선형변환법의 경우보다 평면오차의 경우 약 68 % 더 정확하였으며 높이오차의 경우 8 % 더 정확하였다.

직접선형변환법의 경우 광속조정법에 비해 3차원 위치결정의 정확도는 떨어지나 사진기의 외부표정요소 결정을 위한 초기값이 필요없으므로 CCD 사진기와 같은 비측량용으로 현장에서 실시간으로 신속한 측량결과를 얻기위해서 효과적으로 사용할 수 있고, 그 결과값을 광속조정법의 외부표정요소 초기값으로 사용할 수 있었다.

또한 영상취득시 마다 초점거리가 달라지는 CCD 사진기의 특성을 고려하여 광속조정법에 초점거리와 주점좌표에 대한 검정항을 추가하여 광속조정과정을 수행한 결과, 지상좌표의 평균제곱근오차는 $s_x = 6.34$ mm, $s_y = 7.18$ mm로 평면오차가 $s_p = 9.58$ mm였으며 높이오차는 $s_z = 15.14$ mm이었다. 영상소 단위의 위치오차는 본 연구대상물의 촬영거리와 ccd의 초점거리 f 를 고려할 때 평균 1.5~3 영상소 이내의 위치정확도를 얻을 수 있었다. 일반적 광속조정방법에 비해 수평위치에서는 27 % 높이오차의 경우는 26 % 더 정확도를 높일 수 있었다.

본 연구에서는 수치사진측량과정을 주제별로 클래스로 분류 단일 통합환경을 마련하고 통합환경에서 관련이 있는 클래스들을 묶음으로서 관측값 처리과정

을 수행하게 된다. 이와 같이 단일 통합환경을 구축하므로써 새로운 주제나 연구성과가 추가되었을 때 독립된 또 하나의 개별 프로그램이 추가되는 것이 아니라 통합환경으로 구축된 클래스들에 새로운 연구성과가 클래스로 추가되므로써 또하나의 갱신된 통합환경에서 기존에 구축된 클래스들을 갱신하거나 사용할 수 있어 프로그램의 재사용성과 확장성을 높일 수 있을 것으로 생각된다.

본 연구에서는 수치사진측량 단일 통합환경을 구축하여 그림 4.7과 같이 실시간 GPS(Global Positioning System) 측량과 연계할 수 있는 공유클래스를 제공할 수 있으므로써 GPS 측량연구성과가 기존의 통합환경과 접목되어 갱신된 통합환경을 구축할 수 있는 기반을 제공할 수 있었다.

CCD 사진기의 특성상 촬영과 동시에 수치화된 영상을 얻을 수 있어 근거리 사진측량과정을 신속히 행할 수 있고, 이를 실시간 GPS 측량과 결합하면 수치사진측량에 있어서 많은 응용이 가능할 것으로 판단된다.

앞으로 보다 높은 해상력을 가진 CCD 사진기의 다양한 개발이 이루어지는 경우 근거리 사진측량용으로 활용할 수 있는 잠재력이 매우 크다고 판단된다.

5. 결 론

본 연구에서는 사진측량의 각 주제에 대한 클래스를 제작하고 이를 바탕으로 CCD 사진기를 이용하여 근거리 수치사진측량을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 수치사진측량 과정을 각 주제별로 분류하여 객체지향기법으로 다단계처리를 할 수 있는 클래스를 설계하고, 클래스들의 계층도를 구축하므로써, 근거리 수치사진측량을 수행할 수 있는 단일 통합환경을 조성하였다.
2. 현장에서 신속하게 측량성과를 얻을 수 있도록 CCD 사진기의 검정을 위한 3차원 렌즈검정 모형식을 개발하여, CCD 사진기의 측량용으로서의 활용성을 높일 수 있었다.
3. 관측값 해석에서, 광속조정법에 영상취득시 마다 초점거리가 달라지는 CCD 사진기의 특성을 고려한 초점거리와 주점좌표에 대한 검정항을 추가하여, 근거리 수치사진측량을 수행하므로써 대상물의 3차원 위치결정의 정확도를 높일 수 있었다.
4. 객체지향기법으로 근거리 수치사진측량의 표준환경기반을 구축하여, 공유 클래스를 통해 실시간 GPS 측량 등과 연계할 수 있는 환경을 마련하였다.

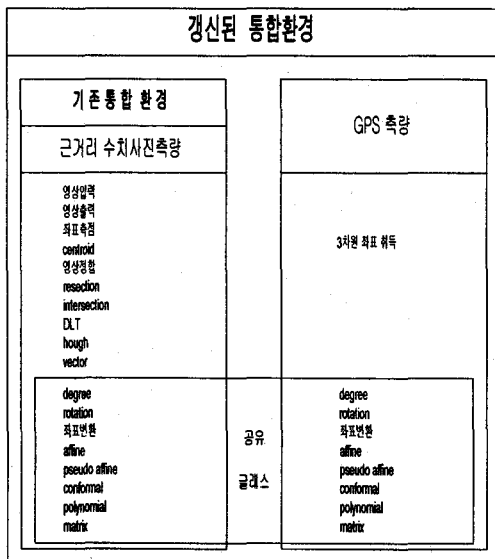


그림 4.7 갱신된 근거리 사진측량 통합환경

참 고 문 헌

1. Konecny,G., "Development of Photogrammetric Instrumentation and Its Future", Finnish Society of Photogrammetry, 50th Anniversary Publication, 1981, pp.21-48.
2. Karara,H.M., Non-Topographic Photogrammetry, American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, 1989, pp.1-14.
3. Wolf,P.R., Element of Photogrammetry, McGraw-Hill, 2nd ed.,1983, pp.2-3,pp.351-352.
4. Toth, C. and T.Schenk, "Design and Implementation Issues of the Automatic

- Aerotriangulation System", ACSM/ASPRS, Vol.3, 1993, pp.374-381.
5. Fischer, M.A. and O.Firschein, Readings in Computer Vision: Issues, Problems, Principles, and Paradigms, Morgan Kaufmann Publishers, 1987.
 6. Jensen, J., Introductory Digital Image Processing, Prentice Hall, 1986, pp.17-18.
 7. Li, J.C. and T.Schenk, "Determination of Transformation Parameters between a Photograph and Its Digital Image through Camera Calibration", The Ohio State University, Technical Notes in Photogrammetry, No6, 1990.
 8. 이석군, "CCD 사진기와 객체지향기법을 이용한 근거리 수치사진측량에 관한 연구", 연세대학교 박사학위 논문, 1998.
 9. 유복모, 이석군, "CCD 사진기를 이용한 근거리사진측량의 실시간 처리에 관한 연구", 대한토목학회 논문집, 제18권, 제III-3호, 1998, pp.317-327.