

사진측량의 표정을 위한 스테레오 매칭 방법 A Stereo Matching Method for Photogrammetric Orientation

崔在和* · 朴喜周** · 徐龍雲***

Jae-hwa, Choi · Hee-Ju, Park · Young-woon, Soh

要 旨

본 연구에서는 상호표정과 사진기준점측량을 위한 새로운 매칭방법을 제안하였다. 이 방법은 수작업에 의한 點移寫와 관측을 대신하여 디지털 항공사진에서 연결점과 접합점으로 사용할 수 있는 공액점들을 매칭한다. 제안된 매칭방법에는 다음과 같은 세 가지의 독특한 단계가 포함되어 있다. 첫째 단계는 interest point를 찾고 이들을 매칭 후보점으로 사용한다. 둘째 단계는 중복촬영된 寫眞像에서 표준상관계수법에 의해 양방향으로(왼쪽에서 오른쪽으로 오른쪽에서 왼쪽으로) 매칭을 실시한다. 셋째 단계는 양매칭방향에서 일치성이 있는 쌍들을 선택한다.

제안된 매칭방법에 기초한 컴퓨터 프로그램을 개발하고, 전면지상기준점측량을 실시한 디지털 항공사진을 이용하여 제안된 방법을 사용하였을 때의 신뢰성과 위치정확도를 조사하기 위한 시험을 하였다. 시험 결과 제안된 매칭방법은 다른 매칭방법보다 불량하게 매칭된 쌍들을 제거하는 데 더 효과적이었으며, 따라서 이 방법을 상호표정 및 사진기준점측량에 사용할 경우 매우 매우 신뢰성이 높다.

ABSTRACT

A new stereo matching method for the relative orientation and the photogrammetric triangulation has been proposed. It matches the pairs of conjugate points to be used as pass points and tie points in digital aerial photographs instead of selecting these points with manual point transfer and measurements. Three unique steps included in the proposed matching method are as followings. The first step is searching interest points, and designating them as candidate points to be matched. The second is matching the points from the pair of images by the Cross Correlation Method in both direction(left to right direction and right to left). The third is selecting consistent pairs in the both matching directions.

Computer programs based on the proposed matching method have been developed, and with digital aerial photographs which have full ground coordinate information tests were performed to know reliabiliy and positional accuracy of proposed method. Results of the tests reveal that the proposed matching method can eliminate the incorrectly matched pairs more efficiently than other matching methods, thus this can be more reliably applied to the relative orientation and the photogrammetric triangulation.

1. 서 론

중복촬영된 사진들로부터 실체시 모델을 형성하고, 또 실체시 도화를 수행하는 과정에서 필수적으로 수반되는 것 중의 하나는 중복촬영된 寫眞像들에서 서로 동일한 지물, 동일한 선, 동일한 점을 찾는 작업이다. 전통적인 사진측량에서 이들 작업은 도화사가 육안으로 寫

眞像을 보면서 수작업으로 수행하고 있다.¹⁾ 아날로그 寫眞像 대신 수치화된 디지털 사진상을 대상으로 하는 디지털 사진측량에서 오래전부터 연구되어 온 문제들 중의 하나는 이 매칭과정을 도화사 대신 컴퓨터로 처리하게 하는 것이다. 이 기술은 상당히 실용화 되어 아직 완벽한 수준은 아니지만 디지털 방법에 의한 지형의 표고 결정, DTM 생성, 등고선도 작성, 正射寫眞地圖 製作 등에 응용되고 있다.²⁾ 지금까지 제안된 대부분의 매칭방법들은 일정한 크기의 면의 유사성, 또는 일정한 영역에 걸치는 선의 유사성을 기준으로 동일한 地點을 나타내

*성균관대학교 토목공학과 교수

**신구전문대학 지적과 전임강사

***성균관대학교 토목공학과 박사과정

는 像인지를 판단하기 때문에 실제로는 전혀 다른 점이면서 비교하는 특성이 같기 때문에 동일한 地點이라고 판단하는 경우가 빈번하게 발생한다. 매칭을 실시함에 있어 이러한 오류는 중복되지 않는 부분을 매칭시킬 때 잘 드러나며, 매칭이 될 점이 있다고 가정하는 탐색영역 (searching area)이 클 수록 많이 발생한다.

매칭기법은 사진측량의 표정에 사용되는 연결점, 점합점의 검출에도 사용될 수 있다. 그러나 상호표정이나 사진기준점측량 경우에는 불량하게 매칭이 된 쌍들이 단 하나라도 연결점, 점합점으로 사용되어서는 안되기 때문에 사진측량의 표정에 매칭기법을 사용하기 위해서는 최종적인 단계에서 불량하게 매칭이 된 쌍이 거의 발생하지 않는 매칭기법의 개발이 필요하다. 일반적으로 상호표정이나 사진기준점측량에 사용하기 위한 매칭방법들에서 불량하게 매칭이 된 점을 제거하기 위해 과대오차 검출기법을 사용하고 있으나⁹⁾ 이 과대오차 검출기법도 측정치들간에 상대적으로 큰 오차를 검출하는 방법이므로 사전에 불량하게 매칭이 된 쌍들을 충분히 줄이는 방법이 필요하다. 본 연구에서는 상호표정이나 사진기준점들에 신뢰성 있게 매칭기법을 적용할 수 있도록 과대오차 검출기법을 적용하기 이전의 단계들에서 불량하게 매칭이 된 쌍을 충분히 제거할 수 있는 특성을 가진 매칭방법을 제안하고자 한다.

2. 제안 매칭방법

2.1 제안 매칭방법의 목적

본 연구에서 제안하고자 하는 매칭방법은 디지털 사진에서 연결점, 점합점을 추출하여 궁극적으로 상호표정이나 번들조정에서 사용할 수 있도록 하는 것이다. 이것은 전통적으로 도화사가 移寫·點刻器를 사용하여 點移寫 作業을 하고, 정밀좌표측정기로 그 점들의 좌표를 관측하던 작업을 순수히 컴퓨터에 의한 수치계산으로 대신하고자 하는 것이다. 연결점, 점합점을 추출한 이후에 진행되는 과정은 기존의 해석적상호표정이나 사진기준점측량의 과정과 동일하다.

DTM 생성이나 등고선추출, 정사사진지도 제작등의 목적에 매칭을 실시할 경우에는 알고 있는 두 사진간의 위치, 자세에 대한 정보를 이용하여 진행을 하며, 이 경우 이들 정보를 이용하여 탐색창들의 크기를 많이 줄일 수 있으며, 비록 소수의 불량 매칭점이 발생한다 해도

전체에 미치는 영향은 아주 심각하지는 않다. 따라서 불량하게 매칭이 되는 쌍의 발생 확률이 0%에 훨씬 못 미친다해도 이용될 수 있다. 그러나 상호표정이나 사진기준점측량의 과정을 자동화하기 위해 매칭기법을 적용할 경우에는 촬영계획시 설계된 중복도 이외에는 두 사진의 기하학적 관계에 대한 정보가 전혀 없이 진행되어야 하므로 매칭작업을 실시하는 데 있어 탐색창들의 크기가 전체사진의 70%에 이를 수도 있다. 경우에 따라서는 디지털 화상을 입력하는 작업자의 실수에 의해 어떤 한 사진이 90°회전이 되어 있거나 또는 작업자의 실수에 의해 중복이 없는 사진들을 매칭하게 하는 경우도 발생한다. 그래서 제안하는 매칭방법은 불량하게 매칭이 되는 쌍들의 발생확률이 거의 0%에 가깝도록 하는 것에 가장 큰 중점을 두었다. 그리고 모든 점들을 매칭하는 것이 필요한 것이 아니라 pass point 경우 한 모델당 von Gruber 점 근처에 최소 6점, tie point 경우 최소한 3점을 항상 검출할 수 있도록 하면 된다. 그러나 실제 촬영된 상태가 매우 다양한 경우가 있을 것임을 고려하여야 하므로 충분한 수의 매칭점이 중복 촬영된 부분 전체에 걸쳐 고르게 분포될 수 있게 하여야 한다. 매칭되는 점들의 수가 사진에 따라서 너무 적게 발생한다면 또는 어느 한쪽에 몰리게 된다면 부정확한 결과를 초래할 수 있기 때문이다. 그리고 매칭점의 위치 정밀도가 매우 높게 되도록 하였다.

2.2 제안 매칭방법

제안 매칭방법의 기본 개념은 다음과 같다. 만약 중복촬영된 두 사진에서 서로 정확히 매칭이 되는 한 쌍의 점이 있다고 가정할 때 그 두 점 근처에서의 화상함수의 수학적 특성은 거의 유사할 가능성이 대단히 높다. 따라서 한 쪽이 interest point로 추출되는 점이면 다른 쪽도 interest point로 추출될 확률이 매우 높다. 바꾸어 말해서 한 쪽이 interest point인데 다른 쪽이 interest point가 아니라면 이것은 우량매칭쌍이 아닐 확률이 높다. 그래서 매칭을 실시하고자 하는 두 사진을 편의상 왼쪽 사진, 오른쪽 사진이라 부를 때 먼저 각 사진상에서 interest point를 추출하고 왼쪽 사진상의 interest point 각각에 대한 오른쪽 사진상의 매칭점을 표준상관계수법으로 찾는다. 이 중에는 불량하게 매칭이 되는 쌍들도 적지 않게 포함되어 있을 것이다. 그리고 반대로 오른쪽 사진상의 interest point 각각에 대한

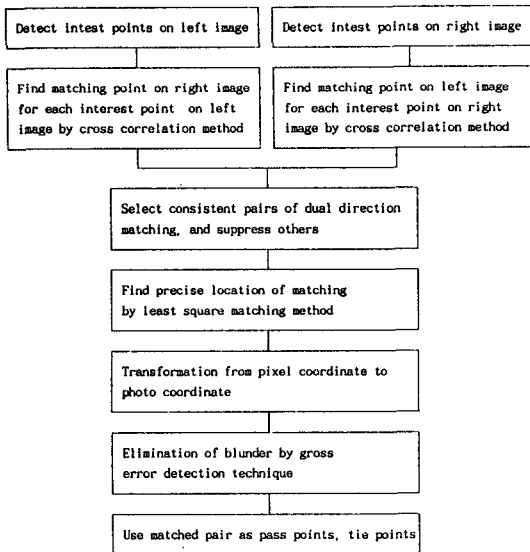


그림 1. Basic flow of proposed matching method

왼쪽 사진상의 매칭점을 표준상관계수법으로 찾는다. 역시 이 중에도 불량하게 매칭이 되는 쌍들도 적지 않게 포함되어 있을 것이다. 확률론적으로 볼 때 양 방향의 매칭은 서로 독립이다. 양방향의 매칭쌍들중에서 서로 일치하는 쌍들을 취한다면 표준상관계수법을 적용했을 때의 불량매칭율이 p 라고 하면 양방향의 매칭이 일치하는 쌍들의 불량매칭율은 p^2 이 될 것이다. 그런데 양쪽 모두 interest point라는 제약이 포함되므로 불량매칭율은 이보다 훨씬 적어 지게 될 것이다.

제안하는 매칭방법의 전체적인 흐름은 <그림 1>과 같으며, 세부적인 절차는 다음과 같다.

<단계1> 각 사진상에서 interest point를 추출한다. interest operator로는 앞으로 더 적합한 연산자가 발견될 때까지는 일단 Förstner Operator를 사용한다. 이 때 Non-local maxima 제거 창들의 크기는 interest value w , q 를 계산할 때 사용된 창들을 W 할 때 $(W-1)*2+1$ 이상으로 한다. 이것은 <단계3>에서 각각의 interest point를 둘러 싸는 창들끼리 서로 겹치지 않도록 하기 위함이다. <단계2> 왼쪽 사진상의 각 interest point에 대한 오른쪽 사진상의 매칭점을 표준상관계수법으로 찾는다. 또 반대로 오른쪽 사진상의 각 interest point에 대한 왼쪽 사진상의 매칭점을 표준상관계수법으로 찾는다.

<단계3> 양방향의 매칭쌍들 중에서 서로 일치하는 쌍들만 선택하고 나머지는 버린다. 서로 일치하는 쌍의 기준은 다음과 같다. interest point를 추출할 때 사용된 작은 창들의 크기를 W 라 하고 임의의 왼쪽에서 오른쪽으로의 매칭쌍을 왼쪽 사진상의 interest point (x_{1l}, y_{1l}) 에 대해 오른쪽 사진상의 (x_{1r}, y_{1r}) 이 매칭된 것이라 하고, 또 임의의 오른쪽에서 왼쪽으로의 매칭쌍을 오른쪽 사진상의 interest point (x_{2r}, y_{2r}) 에 대해 왼쪽 사진상의 (x_{2l}, y_{2l}) 이 매칭된 것이라 하자. 이 때, 왼쪽 사진상의 두 점들간에

$$(x_{1l} - x_{21l})^2 + (y_{1l} - y_{21l})^2 < \left\{ \frac{(W-1)}{2} \right\}$$

오른쪽 사진상의 두 점들간에

$$(x_{1r} - x_{21r})^2 + (y_{1r} - y_{21r})^2 < \left\{ \frac{(W-1)}{2} \right\}$$

을 동시에 만족하는 쌍으로 한다.

<단계4> 앞단계에서 선택한 일치쌍들의 매칭점의 위치를 더 정밀하게 구하기 위해 최소제곱매칭법을 적용한다.

<단계5> 매칭점의 화상좌표를 사진좌표로 변환한 후 매칭점들의 좌표를 사용하여 해석적 상호표정을 실시하고 이 때 과대오차 검출기법을 사용하여 과대오차로 판단된 쌍들을 제거한다.

위의 과정을 거쳐 최종적으로 얻어지는 것들이 찾고자 하는 매칭쌍들이며 이들은 연결점이나 접합점으로 이용하기에 충분한 점들이다. 실제적용에서는 원화상이 해상도가 높고 화상이 크므로 계층적 축소화상(Hierarchical reduced image)을 사용하여 축소된 화상에서 위의 과정을 거쳐 얻어지는 매칭쌍들을 이용하여 개략적인 두 사진간의 기하학적 관계를 파악한 후 이 정보를 이용하여 원화상에서 각 점에 대한 탐색창들의 설정하는 것이 효율적이다.

제안된 방법은 접합점검출에도 사용이 가능하며, 다수 사진상에 걸치는 매칭점을 모두 찾아서 이것을 모델 접합점, 스트립접합점으로 사용하는 것도 가능하다. 매칭점에 대한 화상좌표로부터 사진좌표로의 변환은 디지털 사진상을 얻기 위해 사용된 CCD카메라나 스캐너의 특성에 맞는 식을 선택하여 사용한다.

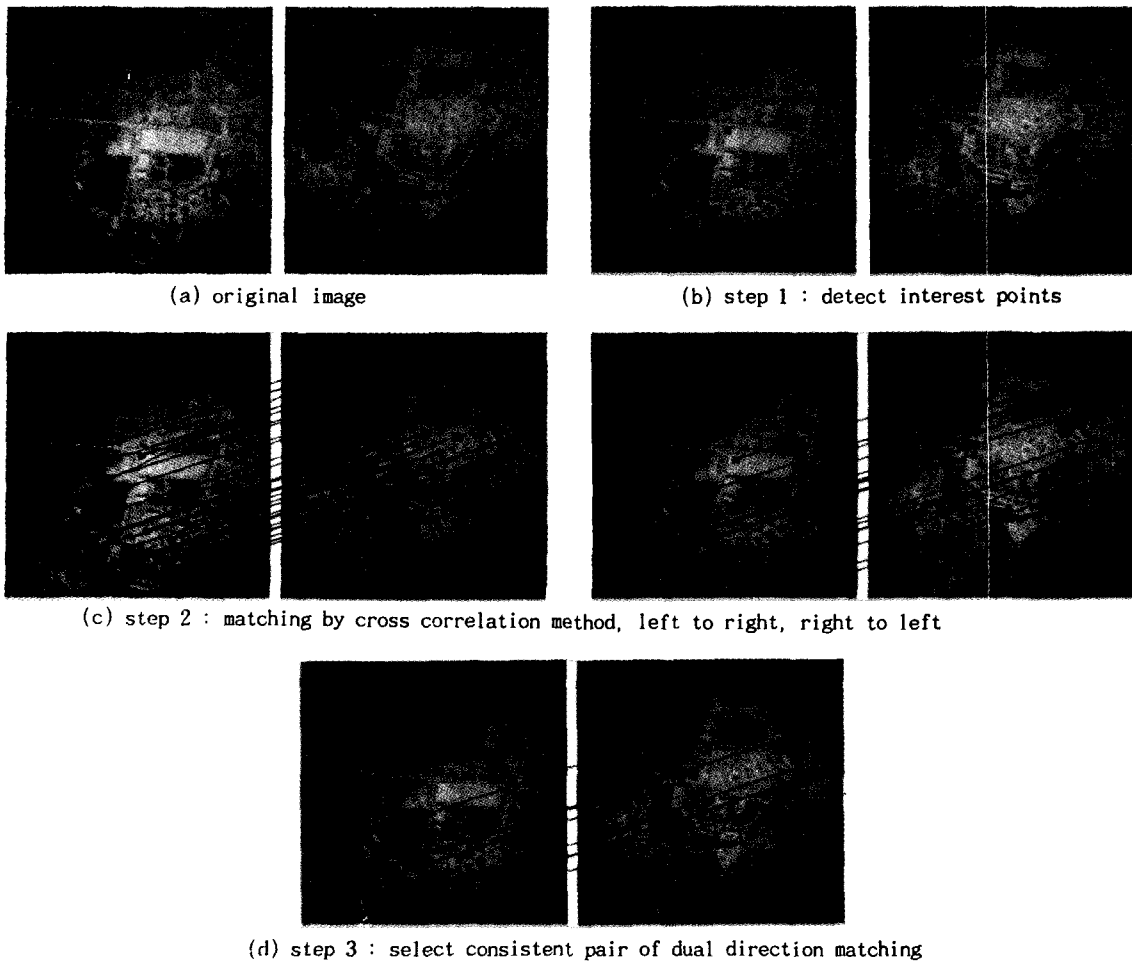


그림 2. Example of each steps in proposed matching method

3. 제안 매칭방법의 시험 및 평가

3.1 시험 적용대상

제안 매칭방법에 기초한 프로그램을 C언어로 작성하고, 조밀한 간격으로 지상기준점측량이 실시된 15매 (5매/스트립×3)의 항공사진을 이용하여 매칭방법에 대한 시험 및 평가작업을 실시하였다.

사용된 사진은 흑백투명양화필름으로 경기도 수원시 성균관대학교 자연과학캠퍼스 일대를 촬영한 것이며, 촬영고도는 약 850 m, 촬영축척은 1/5,000, 중중복도는 약 60%, 횡중복도는 약 30%였다. 촬영카메라는 Zeiss RMK A 15/23형, 화면거리는 152.592 mm였다.

대공표지는 촬영 전에 미리 설치되어 있었으며, 지상 기준점으로 사용할 수 있도록 각 모델당 平面基準點 및

標高基準點 겸용으로 4점씩, 標高基準點用만으로 2점씩 모두 35점이 설치되어 있었고 이외에 추가적으로 16점, 합쳐 41점이 설치되어 있었다. 標高基準點들의 표고는 직접수준측량으로, 平面基準點들의 좌표는 삼변측량과 트래버스측량으로 측정되었다.¹⁾

3.2 사진좌표의 측정과 외부표정요소의 계산

대공표지가 된 모든 점들에 대하여 이번 연구에서 해석도화기로 새로 좌표를 관측하여 사진좌표를 구하였다. 해석도화기로 관측하여 구한 대공표지점들의 사진좌표를 사용하여 각 모델별로 해석적상호표정을 실시하여 그 때의 외부표정요소를 구하였다. 그리고 대공표지가 설치된 모든 점의 지상기준점, 사진좌표를 사용하여 번들조정을 실시하여 각 사진의 외부표정요소와 지



photo 314



photo 312



photo 310



photo 308



photo 306



photo 414



photo 412



photo 410

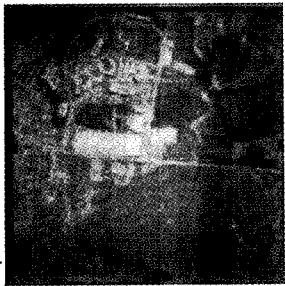


photo 408



photo 406



photo 514

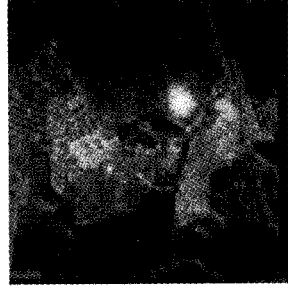


photo 512



photo 510

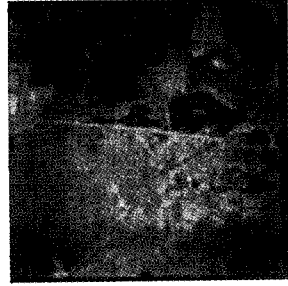


photo 508

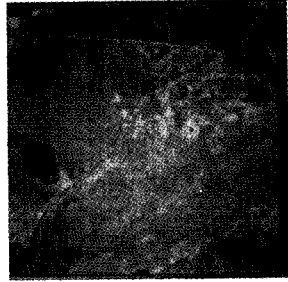


photo 506

그림 3. Photographs of study area

상기준점측량이 실시되지 않고 사진좌표만 측정된 일부 점들의 지상좌표를 계산하였다.

이렇게 구하여진 자료는 매칭기법을 적용하여 구하여진 좌표들을 이용하여 해석적상호표정과 번들조정을 실시할 때와 비교하기 위한 자료로 사용되었다.

3.3 사진의 수치화

Eikonix Model 1414 Digital Image Camera System을 사용하여 투명양화필름을 4096×4096의 해상도로, 화소당 8bit(256 gray level)로 走査하여 디지털 화상을 얻었다. 제작사에서 발표한 동모델에 대한 기하학적 정확도는 1.7화소였으며, 본 연구에서 81개의 검사점에 대해 조사한 정확도는 평균자승오차가 x에 대해 1.10화소, y에 대해 1.17화소, 오차의 최대값은 x에 대해 4.39, y에 대해 4.22화소였다. 한 화소의 크기는 화상마다 다르나 개략적으로 필름 상에서 56 μm였다.

3.4 매칭방법의 단계별 효용성에 대한 시험 및 평가

제안 매칭방법의 각 단계가 의미 있게 구성되었는지, 그리고 실제 화상에 적용하였을 때 제대로 기능할 수 있는지를 평가하기 위한 실험을 실시하였다. 종으로 중복되는 12모델을 대상으로 제안 매칭방법에 따른 각 단계별 진행이 있은 후에 불량매칭쌍의 수를 각각 조사하였다. 화상의 크기는 스캐너 오차, 해석도화기에 의한 관측 오차의 크기가 화소의 크기에 비하여 상대적으로 작게 되도록 128×128로 하였다.

매칭점의 위치오차는 앞에서 모든 지상기준점과 그들의 사진좌표를 이용하여 구한 외부표정요소를 이용하여 매칭쌍들의 사진좌표로부터 지상좌표를 계산할 때의 y잔차값을 이용하여 조사하였다.

표준상관계수법을 적용할 때 기준창틀(reference window)의 크기는 9×9(81화소)와 13×13(169화소)의 두 경우 모두에 대하여 실험하였다.

표준상관계수법만 적용했을 때(상관계수의 임계치는 0.6으로 취하였음) 불량하게 매칭이 된 쌍의 비율은 기준창틀의 크기가 9×9일 경우 12모델, 2243점에 대해 평균 18%, 그리고 기준창틀의 크기가 13×13일 경우 12모델, 1823점에 대해 평균 9%였다. 한편 제안된 매칭방법에 따라 단계1에서 단계3을 거칠 경우 기준창틀의 크기가 9×9의 경우 평균 0.7%, 기준창틀의 크기가

13×13일 경우 평균 0.2%로 단순히 표준상관계수법만 적용시킬 경우에 비해 불량하게 매칭이 되는 쌍의 비율이 약 1/26 적게 발생한다. 제안된 매칭방법은 단순히 표준상관계수법을 적용하는 경우보다 약 2배의 시간이 소요된다. 그러나 거의 같은 시간이 걸리는 기준창틀 크기를 13×13로 하여 표준상관계수법만을 적용하는 경우와 기준창틀의 크기를 9×9로 하고 제안된 매칭방법에 따라 단계1에서 단계3을 거칠 경우를 비교하여 보면, 제안된 방법이 단순히 표준상관계수법만 적용시키는 경우에 비해 불량하게 매칭되는 쌍의 비율이 약 1/13 적게 발생하였다.

한편 interest point간의 매칭만을 실시하였을 때 불량하게 매칭이 된 쌍의 비율을 조사한 결과 기준창틀의 크기를 9×9로 했을 때 1841점에 대해 평균 41%, 13×13로 했을 때에는 1657점에 대해 평균 43%가 발생하였다. interest point간의 매칭시 매칭쌍의 기각여부를 결정하는 상관계수의 임계치를 크게 주면 이 비율은 감소할 것이나 적지 않을 것으로 판단된다.

그리고 단계3이 완료한 후 그 결과에 다시 최소제곱매칭법을 적용하는 단계4를 실시했을 때를 비교한 결과 단계3을 완료했을 때에는 평균자승오차가 0.284 mm였고 단계4를 완료했을 때에는 평균자승오차가 0.099 mm로 크게 감소하였다. 이 때 순수히 최소제곱매칭법의 적용효과만을 비교하기 위해 단계3과 단계4의 결과에서 불량하게 매칭이 된 쌍들은 모두 제거하고 평균자승오차를 계산하여 비교하였다. 따라서 단계4에서 최소제곱매칭법을 적용하는 것은 정밀도를 향상시키는 데 크게 기여한다는 것이 확인되었다. 그리고 단계4의 결과에서 과대오차제거기법을 적용시킨 결과 남아 있던 불량하게 매칭이 된 쌍들은 모두 제거하였다.

따라서 화상의 크기를 128×128로 축소된 12개의 모델에 대하여 제안된 매칭방법을 예비적으로 시험한 결과 이것이 신뢰성이 있고 정밀도도 우수한 방법인 것으로 판단되었다.

3.5 상호표정 및 번들조정에 적용할 경우에 대한 시험 및 평가

본 연구에서 제안한 방법에 의해 검출된 연결점, 접합점을 사용하여 해석적 상호표정을 실시하였을 때나 사진기준점측량의 조정방법의 하나인 번들조정을 실시

할 때 만족할 만한 결과를 얻을 수 있는 지를 시험하였다. 사용된 화상의 크기는 화상을 수치화할 때의 스캐너의 기계오차와 사진좌표를 측정할 때 해석도화기의 오차의 영향이 작은 상태에서 순수히 제안된 매칭방법에 대한 평가만 이루어 질 수 있도록 화상의 크기를 128×128과 512×512로 한 경우에 대하여 시험하였다.

12개 모델에 대하여 해석적 상호표정을 실시한 결과 128×128크기의 화상들에서 추출한 매칭쌍의 좌표들을 이용하였을 때 ω , ϕ , κ 에 대한 평균자승오차는 0.25 grad이내였으며, b_y , b_z 에 대한 평균자승오차는 0.47 mm였다. 그리고 512×512크기의 화상들에서 추출한 매칭쌍의 좌표들을 이용할 경우 ω , ϕ , κ 에 대한 평균자승오차는 0.18 grad이내였으며, b_y , b_z 에 대한 평균자승오차는 0.13 mm이내로 들어왔다.

번들조정에 사용하였을 때에는 3모델간격으로 지상 기준점을 배치하여 조정한 후 38개의 검사점을 대상으로 조사한 결과 128×128크기의 화상들에서 추출한 매칭쌍의 좌표들을 이용하였을 때 X,Y좌표에 대한 평균자승오차가 화소크기의 0.11배이내였고, Z값은 시차차로 환산하였을 때 화소크기의 0.14배이내였다. 512×512크기의 화상들에서 추출한 매칭쌍의 좌표들을 이용하였을 때 X,Y좌표에 대한 평균자승오차는 화소크기의 0.12배이내였으며, Z값은 시차차로 환산하였을 때 화소크기의 0.27배였다.

따라서 어느 경우나 화소크기에 비하여 양호한 결과를 얻을 수 있었다. 실용화를 위해서는 사진을 수치화할 때 스캐너의 기계적오차가 매우 적은 것을 사용하고 해상도가 훨씬 높은 것을 사용하면 아주 양호한 결과를 얻을 수 있을 것을 생각된다.

4. 결 론

본 연구에서는 상호표정 또는 사진기준점측량(번들조정)에 이용하기 위한 스테레오 매칭 방법의 한 가지를 제안하였으며, 제안한 방법에 기초한 프로그램을 개발하고 항공사진을 대상으로 이에 대한 시험 및 평가를 실시한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 제안한 매칭방법은 디지털 사진에서 컴퓨터에 의한 수치계산만으로 연결점, 접합점으로 사용할 수 있는 점들을 선정하고, 그들의 좌표를 결정할 수 있다.

2. 제안 매칭방법으로 결정한 연결점, 접합점을 사용

하여 번들조정, 또는 상호표정을 실시하였을 때에도 화소크기에 비하여 정확한 결과를 얻었다.

3. 매칭점을 찾기 위한 과정에서 단순히 일방향으로 상관계수법을 적용하거나 interest point 매칭법을 적용하는 것보다는 본 연구에서 제안한 바와 같이 interest point를 매칭 후보점으로 하고 상관계수법에 의해 양방향으로 매칭을 실시하였을 때 서로 일치하는 쌍만을 선택하는 방법을 사용하면 불량하게 매칭이 되는 쌍들의 비율이 현저히 감소한다.

4. 최소제곱매칭법은 본 연구에서도 위치정밀도를 향상시키는 데 매우 좋은 방법으로 평가되었다.

참고문헌

1. 최재화, "항공사진측량에서 기준점성공에 대한 정확도의 비교 평가에 관한 연구", 서봉학술재단 연구보고서, 1988
2. 안기원, 문병상, "외부표정요소를 이용한 CCD카메라 스캐너의 기하학적 왜곡 보정 기법 연구", 한국측지학회지, 제11권 제2호, 1993
3. 박병욱, "SPOT 위성 데이터를 이용한 수치표고모델생성에 관한 연구", 서울대학교 대학원, 박사 학위 논문, 1991
4. American Society of Photogrammetry, "Manual of Photogrammetry", Forth Edition, 1980
5. Robert M. Haralick, Linda G. Shapiro, "Computer and Robot Vision", Vol. 2, Addison, Wesley Publishing Company, Inc., 1993
6. U.V. Helava, "State of art in digital photogrammetric workstations", ASPRS/ACSM/RT 928, Vol. 2, 1992, pp. 10-24
7. Förstner, W, A., "Feature based correspondence algorithm for iamge matching", International Archives for Photogrammetry and Remote Sensing, Vol 26-3/3, 1986
8. Förstner, W, A., "Digital image matching techniques for standard photogrammetric application", 1986
9. Ackermann, F., "High precision digital image correlation", International Proceedings, 396h Photogrammetric Week, H9, Stuttgart, Germany, pp. 231-243
10. Agouris, P., "Multiple image matching", 17th International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Commission III, 1992, pp. 802-807
11. Veress, S.A., and Y. Huang, "Application of Robust estimation in close-range photogrammetry", PE&RS, Vol. 53, No. 2, 1987, pp. 171-175

12. J.C., Trinder, "Experiments on target location and image matching", XVI ISPRS Congress Archives Commission III, 1988, pp. 784-792
13. 村井俊治 外, "解析寫真測量", 改訂版, 平成元年
14. 日本測量協會, "寫真測量", 現代測量學 第6卷, 昭和 56年
15. 日本測量協會, "寫真測量②", 現代測量學 第7卷, 昭和 56年