

# 항공사진에 포함된 기점 마크의 자동 인식

조성익<sup>0</sup> 방기인  
한국전자통신연구원 공간정보기술센터  
{chosio, kiinbang}@etri.re.kr

## Automatic Identification of Fiducial Marks Existing on Aerial Photographs

Seong Ik CHO<sup>0</sup> Ki In Bang

Spatial Information Technology Center, Electronics and Telecommunications Research Institute

### 요 약

항공사진에 포함된 기점 마크의 방사 및 기하 특성을 이용하여 마크의 중심 위치를 자동으로 인식하기 위한 방안을 제안한다. 마크를 포함하는 배경 영역의 방사 특성에 기반을 둔 전략에 근거하여, 입력된 영상을 이치화한 다음 형태 연산자를 적용시켜 기점 마크가 있는 후보 영역을 추출한다. 기하 특성에 기반을 둔 전략에 근거하여  $\nabla^2G$  필터링과 대칭성 강조 필터링을 적용시킨 후, 대칭이 가장 강하게 나타나는 위치인 마크의 중심 위치를 구한다. 66개의 기점 마크 영상에 대한 평가 결과 중심 위치가 1 화소의 정확도까지 얻어질 수 있다는 것을 확인할 수 있었다.

### 1. 서 론

기점 마크(fiducial mark)는 항공사진에 포함된 잘 정의된 기하 형상으로서 정의된다. 물리적인 의미로서의 기점 마크는 카메라 본체의 일부로서 붙어 있는 물리적 장치를 의미하며, 카메라가 대상을 촬영할 때 필름의 특정 부분에 물리적 장치의 상을 밀착하여 기록할 수 있도록 되어 있다. 각 기점 마크는 필름의 특정 위치에 독립적으로 상을 맺도록 되어 있기 때문에 카메라 본체나 필름의 상태 등의 물리적 조건 변화에 따라 필름에 맺히는 마크의 상은 약간씩 달라질 수 있다[1][2].

기점 마크의 자동 인식은 보다 편리한 수치도화시스템(Digital Photogrammetric Workstations)을 개발하는데 도움을 준다. 이에 관련한 기존 연구로는 binary cross correlation, modified Hough transformation[3], least-square template matching[2], attribute-based mathematical morphology[4] 등에 기반을 둔 연구들이 있어 왔다. 최근 기점 마크의 기하 특성에 대한 정밀한 사전 정보(a priori information)에 의존하지 않고도 마크의 중심 위치를 찾기 위한 방법[4]이 제안되기는 하였지만, 마크 중심 위치를 계산하는 데 있어 영상의 열화와 같은 예기치 못한 상황에도 작동 가능한 보다 신뢰성이 높은 방법론의 개발이 계속되어야 한다고 믿는다.

이 논문에서는 기점 마크의 방사 특성과 기하 특성을 이용하여 마크의 중심 위치를 구할 수 있는 새로운 접근 방법을 제안하고자 한다. 제안하는 방법에서는 마크를 포함하는 배경 영역의 방사 특성에 기반을 둔 전략을 통하여 마크가 위치한 후보 영역을 검출한 다음, 마크의 기하 특성에 기반을 둔 전략을 통하여 대칭성이 가장 강하게 나타나는 위치인 마크의 중심 위치를 계산한다. 제안된 전략의 장점은 기존 방법과 비교할 때 마크의 정밀한 기하 특성에 대한 정보의 크게 의존하지 않는다는 점이다.

### 2. 기점 마크의 모델 및 접근 전략

항공사진에서 기점 마크의 모델은 방사와 기하 특성에 의해 비교적 명확하게 정의가 가능하다. 방사 특성은 충분한 넓이를 가지는 어두운 배경(backgrounds) 영역과 이를 둘러싼 밝은 전경(foregrounds) 영역, 그리고 배경 영역 안에 존재하는 밝은 형상의 기점 마크로서 정의할 수 있다. 기하 특성은 일반적으로 마크를 구성하는 기하 요소 사이의 연관성에 의해 정의되거나 마크가 가지는 대칭성에 의해 정의될 수 있는데, 이 논문에서는 마크의 기하 특성이 대칭성을 가진다는 점을 이용한다.

이 논문에서 제안하는 기점 마크의 자동인식 방법은 그림 1에 보인 것처럼 방사 특성에 기반을 두어 기점 마크의 영역을 분리하고 기하 특성에 기반을 두어 마크의 중심 위치를 계산하는 전략에 기반을 둔다. 기점 마크를 포함하는 영역의 분리는 입력 영상을 이치화한 다음, 수학적 형태 연산자를 적용시켜 기점 마크 영역을 추출하고, 이를 확장하여 사각형으로 된 기점 마크의 영역을 분리하도록 하는 절차를 거친다. 기점 마크의 중심 위치

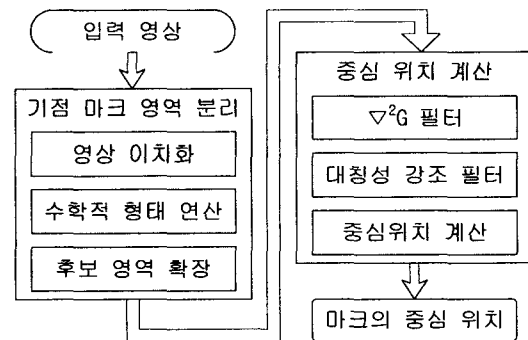


그림 1. 제안하는 기점 마크의 자동인식 방법



그림 2. 이치화 결과 (a)입력 영상, (b) 이치 영상

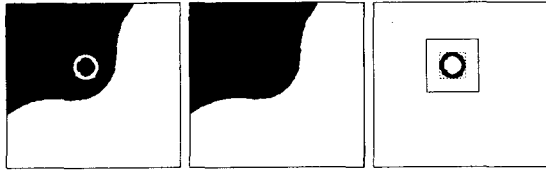


그림 3. 형태 연산 결과 (a) 영상 I2 (b) 영상 I3 (c) 영상 I4 및 확장된 후보 영역

계산은  $\nabla^2G$  필터를 적용하여 마크 주변의 에지를 강조한 다음 그 결과를 대칭성 강조 필터에 적용시켜 가장 강한 대칭성이 나타나는 위치를 찾아 기점 마크의 중심 위치를 결정하는 절차를 거친다.

### 3. 기점 마크의 영역 분리

#### 3.1 영상 이치화

입력된 영상을 이치화하기 위한 최적의 문턱치는 Otsu와 triangular 알고리즘을 순차적으로 적용시켜 구한다. Otsu의 알고리즘[5]은 자동적인 문턱치 계산이 가능하지만 bi-modal한 통계적인 특성을 가진 영상에 대해서만 신뢰성 있는 문턱치의 계산이 가능하다. Triangular 알고리즘[6]은 적절한 초기 조건이 주어지는 경우 영상의 통계적 특성에 무관하게 신뢰성 있는 문턱치의 계산이 가능하다. 기점 마크를 포함한 항공 영상의 계조도는 일반적으로 multi-modal한 특성을 가지며 배경 영역에 해당하는 밝기에서 가장 강한 peak를 가진다. 따라서 이런 특성을 이용하여 Otsu의 알고리즘으로 구한 문턱치를 triangular 알고리즘의 초기 조건으로 삼아 이치화를 위한 문턱치를 계산하였다.

그림 2는 기점 마크를 포함한 영상과 Otsu-triangular 알고리즘으로 제작된 이치 영상을 보여준다.

#### 3.2 수학적 형태 연산

그림 2의 이치 영상에 대하여 회선 커널(convolution kernel)의 한 종류인 structuring element를 적절히 정의하여 형태 연산자(morphological operator)를 적용하면 특정한 형상을 가진 영역을 추출할 수 있다[7]. 이하에서  $I1$ 은 입력되는 이치 영상,  $Cn$ 은  $n$  화소의 반경을 가진 disk 형태의 structuring element,  $\ominus(I1, Cn)$ 은 opening operation을 각각 의미한다.

배경 영역에서 기점 마크 영역의 분리는 다음과 같은 연속적인 연산들에 의해 이루어진다.

$$I2 = \ominus(I1, C_n), \quad (1)$$

$$I3 = \ominus(I2, C_m), \quad (2)$$

$$I4 = I2 - I3. \quad (3)$$

여기에서 structuring element  $Cm$ 의 반경은 예상되는 기점 마크의 반경으로 설정하고  $Cn$ 은 적절한 크기로 한다. 식

(1)은 영상에 포함된 잡음을 제거하고, 식(2)는 배경 영역에 있는 기점 마크를 제거하므로, 식(3)에 의한 두 영상의 차(difference operation)는 그림 3에 보인 것처럼 기점 마크의 영역만을 남기게 된다.

#### 3.3 후보 영역 확장

구해진 기점 마크의 영역을 확장하여, 다음 단계의 계산을 위한 후보 영역을 구한다. 영상 I4에 대하여 수평과 수직 방향으로 누적 프로파일을 구하여 그림 3(c)에 점선으로 표시된 기점 마크의 범위를 결정하고 이를 확장하여 실선으로 표시된 후보 영역을 구한다.

### 4. 중심 위치 계산

#### 4.1 $\nabla^2G$ 필터링

기점 마크의 영역에 대하여  $\nabla^2G$ (Laplacian of Gaussian) 필터를 적용하여 기점 마크의 형상에 의한 에지의 주변이 zero-crossing의 형태를 갖도록 한다. 계산 속도의 향상을 위한 블록 필터링을 위하여  $\nabla^2G$  필터를 그대로 사용하지 않고 그림 4(a)에 보인 단순화된 회선 커널을 사용한다. 단순화된  $\nabla^2G$  필터의 연산은 영역  $R1$ 과  $R2$ 의 평균값의 차이를 구하는 것으로 다음과 같이 정의된다.

$$I5 = \frac{1}{N_{R2}} \int_{R2} I0 - \frac{1}{N_{R1}} \int_{R1} I0 \quad (4)$$

여기에서  $I0$ 은 그림 2(a)에서 앞 단계에서 분리된 기점 마크를 포함한 원래의 입력 영상을 의미하고,  $N_{R1}$ 과  $N_{R2}$ 는 각각 그림 4(a)의 회선 커널에 의해 정의되는 영역  $R1$ 과  $R2$ 에 포함된 화소의 수를 의미한다. 그림 5는 단순화된 회선 커널을 사용하여  $\nabla^2G$  필터를 적용한 결과를 보여준다.

#### 4.2 대칭성 강조 필터링

수직과 수평의 대칭성 강조 필터링은 그림 4(b)와 4(c)의 회선 커널에 의해 각각 다음과 같이 정의된다.

$$I6_y = \int_{S1} |I5_{S1} - I5_{S2}| \quad (5)$$

$$I6_x = \int_{T1} |I5_{T1} - I5_{T2}| \quad (6)$$

$$I6 = I6_y \times I6_x \quad (7)$$

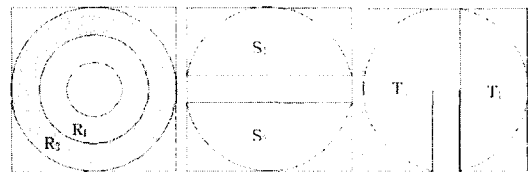


그림 4. 계산을 위해 사용된 회선 커널 (a)  $\nabla^2G$  커널, (b) 수직 대칭성 커널, (c) 수평 대칭성 커널

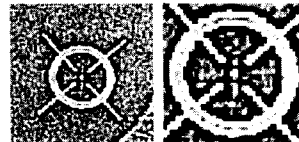


그림 5. (a)  $\nabla^2G$  필터링의 결과, (b) 중심부 확대 영상

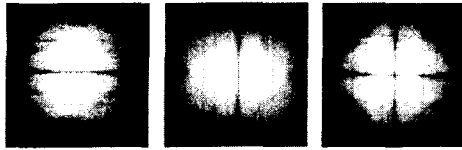


그림 6. 대칭성 강조 필터링에 의한 영상, (a) 수직 방향, (b) 수평 방향, (c) 결합된 결과

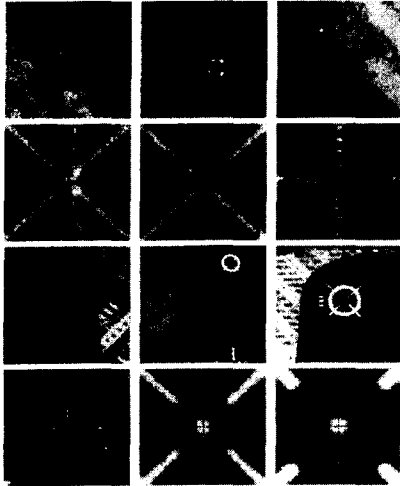


그림 7. 중심 위치 계산 결과

여기에서 식 (5)는  $\nabla^2 G$  필터링이 적용된 영상인 그림 5(a)에 대한 수직 방향의 대칭성 강조 필터링을 의미하고, 식 (6)은 수평 방향의 대칭성 강조 필터링을 의미하며, 식 (7)은 수직과 수평 방향 대칭성 강조 필터링의 결과가 결합된 것을 의미한다.  $I_{51}$ 과  $I_{52}$ 는 그림 4(b)의 수직 대칭성 커널에 의해 정의되는 영역에 포함된 화소를 의미하며  $I_{51} - I_{52}$ 는 대칭적인 위치에 있는 화소들 사이의 차이의 절대치를 의미한다.  $I_{71}$ 과  $I_{72}$ 도 마찬가지로 그림 4(c)의 대칭성 커널에 의해 정의되는 영역에 포함된 화소를 의미한다.

그림 6은 대칭성 강조 필터링에 의한 결과를 보여준다. 처음의 두 영상은 각각 수직 방향과 수평 방향의 결과를 의미하며, 세 번째 영상은 두 방향으로 구한 대칭성 필터링의 결과를 결합한 것을 의미한다.

#### 4.3 중심 위치 계산

그림 6(c)의 중앙부에서 가장 어두운 부분은 영상이 가지는 대칭성의 중심에 해당하기 때문에 기점 마크의 중심이 된다. 이와 같은 대칭성의 중심 위치는 그림 6(c)에 평활화 필터를 적용한 다음, 주변부와의 밝기 차이가 가장 큰 점을 찾음으로서 얻어진다.

#### 5. 실험

이 논문에서 제안한 알고리즘의 신뢰성과 안정성을 점검하기 위하여 기점 마크를 포함한 66개의 실험용 영상에 대하여 실험을 하였다. 실험 대상 영상 중에는 양호한 것도 있었고, 긁힌 자국(scratches)을 포함한 영상이

나 기점 마크가 너무 밝거나 너무 어두운 영상도 포함되어 있었다. 그림 7은 실험 대상 영상 중의 일부와 제안된 방법을 통하여 얻어진 중심 위치를 보여주고 있다.

인간에 의한 검사를 통하여 제안된 방법의 안정성을 점검한 결과, 66개의 대상 중에서 기점 마크가 너무 어두워 육안으로도 구분이 어려운 1개의 경우를 제외한 나머지 65개의 영상에서는 마크 중심의 위치가 1 화소의 정확도로 계산된 것으로 평가될 수 있었다.

#### 6. 결 론

항공사진에 포함된 기점 마크의 중심 위치를 자동적으로 구하는 새로운 방법을 제안하였다. 제안한 방법은 기점 마크의 정밀한 기하 특성에 대한 정보에 의존하지 않고 방사 특성과 기하 특성을 이용하여 마크의 중심 위치를 찾으려 하는 것이다. 66개의 실험용 영상에 제안한 방법을 적용한 결과 마크의 밝기가 너무 밝거나 어두운 경우에도 믿을만한 결과를 얻을 수 있음을 보였다. 제안한 알고리즘은 기점 마크의 정밀한 기하 특성에 의존하지 않기 때문에 기존에 개발된 방법에 비하여 안정성과 신축성이 높은 방법으로 평가될 수 있을 것이다. 이 논문에서 해결하지 못한 부화소 정확도까지의 중심 위치를 구하는 방법, 오인식을 대비한 자동 진단(self-diagnosis) 방법 등에 대하여 후속 연구가 지속되어야 할 것이다.

#### 참고 문헌

- [1] O. Kölbl, An Overview on Commercial Software Products for Digital Aerial Triangulation, OEEPE Workshop on Application of Digital Photogrammetric Workstations, 1996.
- [2] T. Schenk, Digital Photogrammetry, Vol. 1, (TerraScience, Ohio), 1999.
- [3] T. Kersten and S. Haering, Automatic Interior Orientation of Digital Aerial Images, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol.63, no.8, pp.1007-1011, 1997
- [4] C. Sun and X. Wu, Automatic Segmentation of Fiducial Marks Using Attribute-based Mathematical Morphology, Journal of Electronic Imaging, Vol.10, no.2, pp.560-566, 2001.
- [5] N. Otsu, A Threshold Selection Method from Gray-Level Histograms, IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Vol.9, no.1, pp. 62-66, 1979.
- [6] G.W. Zack, W.E. Rogers, and S.A. Latt, Automatic Measurement of Sister Chromatid Exchange Frequency, Vol.25, no.7, pp.741-753, 1997.
- [7] R. C. Gonzalez and R. E. Woods, Digital Image Processing, (Addison-Wesley, Tokyo), 1992.