

# GIS를 위한 항공촬영 Video 동영상 Mosaic방법에 관한 연구

이승원<sup>1)</sup> 김황수

경북대학교 컴퓨터학과

lsw2000@tgssm.co.kr, hsk@knu.ac.kr

## A Study on Aerial Video Image Mosaic For GIS

Seung-Won Lee<sup>1)</sup> Hwang-Soo Kim

Dept. of Computer Science, Kyungpook National University

### 요 약

GIS를 이용한 원격 탐사 방법으로, 기존의 항공촬영을 위한 전용 항공기와 전용 촬영 장비를 사용하는 대신 경비행기와 소형 video-camera를 이용하여 비교적 저렴한 비용으로 자료 획득이 가능하다. 그러나 기존의 항공촬영 방식과 달리, 이 Video-GIS 방식은 좁은 시야각과 촬영 자세가 쉽게 변하는 문제점을 가지고 있으며, 동영상에서 각 영상 frame을 일일이 추출하여 수작업으로 mosaic하여 하나의 큰 영상을 만들어야 하는 단점이 있었다. 본 논문에서는 이러한 수동작업 영상 mosaic를 자동화하는 새로운 방법을 제시하고자 한다.

### 1. 서 론

항공사진, 인공위성 등의 원격 탐사를 통하여 GIS를 구축하고 공간 문제의 분석과 연구에 이용하는 것이 일반화 되고 있다. 그러나 기존의 원격 탐사 자료는 좁은각도의 정투사 영상에 가깝다는 특징을 이용하여 여러장의 추출자료(이미지)를 이어 붙이는 것만으로 비교적 쉽게 넓은 지역에 대한 정보를 생성할 수 있었다. 그러나 전용 항공기나 인공위성을 이용한 영상 획득은 그 비용이 많이 든다는 문제가 있다. 특히 강, 도로, 송유관에 대한 자료를 얻기 위해서는 상대적으로 좁고, 긴 이미지를 필요로 하는데 전용 항공기와 인공위성을 이용하는 것보다는 일반적인 항공기에 소형 video 카메라를 이용하면 비록 좁은 시각(angle-of-view)의 단점은 있지만 비용이 적게 든다.[1]

하지만 이 방식은 항공사진과 인공위성 사진에 비해 촬영 자세의 변화가 크고, 그 빈도가 높기 때문에 하나의 단일 이미지로 구성하기 위해서는 정렬(align), 각종 변형(transformation) 등에 대한 문제를 해결해야만 한다.[2]

본 연구에서 mosaic소스가 되는 자료인 video 동영상의 연속적인 특징을 이용하여 optical flow기법으로 추적한 이미지 간의 특징점 대응관계에서 회전과 이동mapping, perspective mapping, 카메라 자세/위치 등을 계산하여 실제 영상 mosaic 만든다.

### 2. 특징점에 대한 대응점 추출

동영상의 특정 frame에서 추출한 특징점은 동영상의 움직임에 의해 몇 frame 이후로는 영역 밖으로 사라지고 또한 새로운 특징점도 발생한다. 이들 특징점의 대응관계를 얻기위해 optical flow를 이용하여 특징점들을 추적한다.

#### 2.1 Optical flow를 이용한 특징점 추적

동영상에서 지정한 시작 frame에서 feature detection 기법을 이용하여 특징점들을 찾고 optical flow 기법을 이용하여 frame 사이의 특징점의 대응관계를 추출한다.[3]

#### 2.2 특징점 이동 거리를 고려한 mosaic대상 frame의 결정

Video로 촬영한 동영상의 모든 frame에 대해서 mosaic를 수행하는 것은 움직임이 적을 경우 효율성이 떨어지므로, 기준 frame에서 가장자리로부터 일정 영역 안에 있는 특징점을 추

출한 후, 특징점의 움직임을 추적하여, 일정 크기 이상으로 이동한 시점의 frame을 추출, mosaic 수행의 단계를 줄이는 방법을 사용한다. 이 방법에서 특징점이 사라지기 전에 새로운 특징점을 찾아서 연속성을 유지하여야 한다.

아래는 mosaic를 위한 정보 추출 과정이다.

1.  $n \leftarrow 0$  ( $n$ : mosaic frame 번호)
2. 기준 특징점들을 추출하여 위치(좌표)를 저장, 현재 frame의 index를 저장
3. 특징점의 이동거리가 특정 값을 넘지 않을 때 까지 frame index를 이동하면서, 특징점의 위치(좌표)를 추적
4. 추적된 특징점들의 위치(좌표)와, frame index를 보관
5.  $n \leftarrow n + 1$
6. 나머지 frame에 대해서 2~5번 과정을 반복한다.

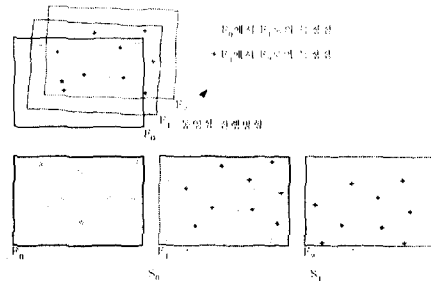


그림1. 대응관계 정보  $S_n$  추출

그림1은 특징점 대응관계 정보  $S_n$ 을 추출하는 예를 보이고 있다.  $F_0$ 의 특징점을 시작으로  $F_1$ 위치까지 추적하여  $S_0$ 을 만들고,  $F_1$ 에서 새로운 특징점을 기준점으로 설정후,  $F_2$ 까지 추적하여  $S_1$ 을 만드는 방식이다.

### 3. mosaic의 구현 방법

Frame과 frame간의 특징점들의 대응 관계를 이용하여 video로 촬영된 동영상을 처음부터 끝까지 이어 붙일 수 있다. 실제 구현방법으로 Perspective 변환 방식, Rotation & Translation 방식, 3D상의 카메라를 고려한 방식을 사용하였다.

이후 언급하는 동영상 자료는 Panasonic DV 카메라로

Focal Length 5.9, 고도 6000 feet에 촬영하고, 컴퓨터로는 1/10sec 간격으로 640x480 해상도로 캡처한 영상을 사용했다.

3.1 Perspective 변환 방식

카메라를 통하여 획득한 영상은 3D에서 2D로의 perspective projection이며, 따라서 frame간의 이미지 변화를 가장 근접하게 계산할 수 있는 변환식은 perspective 변환이다.[4]

3.1.1 Perspective 계수 계산

Perspective 계수를 계산하기 위해서는 4개의 대응점 만이 필요로 하나, 정확성과 에러에 대한 영향을 줄이기 위해 추출한 모든 특징점들을 이용한다.

4개의 대응점을 이용한 계수는 Gaussian elimination을 사용하여 구할 수 있으나 모든 특징점을 이용하여 Least squares 방식의 하나인 pseudo inverse식을 이용하여 아래 수식과 같이 계산한다.

$$\begin{pmatrix} x_0 \\ \vdots \\ x_n \\ y_0 \\ \vdots \\ y_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} u_0 & v_0 & 1 & 0 & 0 & 0 & -u_0x_0 & -v_0y_0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ u_n & v_n & 1 & 0 & 0 & 0 & -u_nx_n & -v_ny_n \\ 0 & 0 & 0 & u_0 & v_0 & 1 & -u_0y_0 & -v_0x_0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & u_n & v_n & 1 & -u_ny_n & -v_nx_n \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a \\ b \\ c \\ d \\ e \\ f \\ g \\ h \end{pmatrix}$$

$$y = mv$$

$$v = (M'M)^{-1}M'y$$

3.1.2 Mosaic 결과 및 장, 단점

이 방식으로 mosaic한 결과는 그림 2와 같다.

장점

Perspective 변환의 일반성에 의해 frame과 frame간의 정합이 안정적 인 편이다.

단점

Mosaic를 진행 할수록 원 이미지에서 왜곡이 심하게 되며, 평면으로 보정되지 못하고 특정 위치에 시점이 고정된 듯한 mosaic 이미지가 되었다. 그 원인은 계속적으로 기존 frame에 맞추어서 이후의 frame을 perspective 변환하여 mosaic하므로, 이미지 변형이 누적되기 때문이다.



그림 2. Perspective 변환을 이용한 mosaic 결과

3.2 Rotation & Translation 방식

앞서 실험한 perspective 변환을 이용한 mosaic의 계속적인 이미지 왜곡을 피하기 위해 frame의 이미지를 변형시키지 않고, 단지 회전과 이동된 mosaic frame으로 mosaic를 수행한다.[5]

3.2.1 회전과 이동 계수 계산

대응되는 특징점으로부터 회전과 이동 계수는 아래의 수식으로 구할 수 있으며, 이 역시 pseudo inverse를 이용한 least square를 적용한다. 수식은 아래와 같다.

$$\begin{pmatrix} u \\ v \\ 1 \end{pmatrix} = s \begin{pmatrix} \cos \theta & -\sin \theta & tx \\ \sin \theta & \cos \theta & ty \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ 1 \end{pmatrix}$$

3.2.2 Mosaic 결과 및 장, 단점

이 방식으로 mosaic한 결과는 그림 3과 같다.

장점

시작 frame에서 끝 frame까지 평면의 전체 영상을 얻을 수 있고, 이미지 왜곡도 없어졌다.

단점

Video의 영상을 보정없이 그대로 사용하기 때문에 실제 카메라 자세에 의한 왜곡된 이미지도 그대로 사용되어 실제 평면 이미지를 얻기는 어렵다는 것이다.



그림 3. 회전과 이동 변환을 이용한 mosaic 결과

3.3 3D상의 카메라를 고려한 방식

앞의 실험은 영상간의 연결성 위주로 고려하며 실제 카메라의 자세 변화에 따른 이미지 변형과 왜곡에 대한 교정이 없었다. 그러나 실제 Video-GIS 응용에서는 geometric correction[1]이 중요하므로, 실제의 항공 촬영에서 카메라의 움직임과 자세를 고려한 알고리즘이 필요하다.

3.3.1 3D에서 카메라 자세, 위치의 변화

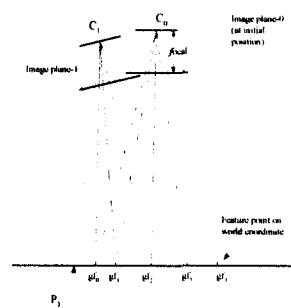


그림 4. 카메라의 변화

초기 카메라 위치(C1)에서의 영상에서 특징점들에 대하여 지면상의 좌표를 계산한다. 이후 다음 단계의 임의의 카메라 자세/위치로부터 얻은 영상의 대응점들에 대하여 지면상의 좌표를 계산한다. 두 대응되는 좌표들이 가장 근접하게 되는 카메라 자세/위치를 찾으면 다음 카메라 위치(C2)를 알아 낼 수 있다.

3.3.2 특징점으로 부터 지면 위에서의 좌표 계산

카메라 자세/위치값으로부터 2D 특징점들에 대한 지면상의 3D 좌표를 계산하는 수식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} (Wx - Cx) &= t(Ix - Cx) \\ (Wy - Cy) &= t(Iy - Cy) \\ (Wz - Cz) &= t(Iz - Cz) \end{aligned}$$

그림5에서 아래와 같은 비례식을 만들 수 있다.

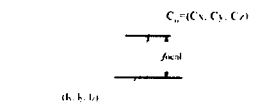


그림 5. 특징점을 지면위 3D좌표로 변환

$$t = \frac{(Iz - Cz)}{(Wz - Cz)} \quad \begin{matrix} Wx = t(Ix - Cx) + Cx \\ Wy = t(Iy - Cy) + Cy \end{matrix}$$

카메라 자세, 위치로부터 실제 영상면에 나타나는 특징점은 카메라의 자세/위치 rx, ry, rz, x, y, z로 부터 회전과 이동을 합한 4x4 변환 행렬 M을 이용하여 계산할 수 있다.

$$M = \begin{bmatrix} Cx & Cy & Cz & 0 \\ -rx & -ry & -rz & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

특징점에 대한 지면상의 좌표를 얻기 위한 과정은 다음과 같다. (과정1.)

1. 현재 카메라 값으로 행렬 M을 만든다.
2. 특징점들에 대한 카메라의 영상면 좌표를 계산한다.

$$\text{PointInImagePlane} = \begin{bmatrix} \text{Point2Dx} - icx \\ \text{Point2Dy} - icy \\ -Focal \\ 1 \end{bmatrix}$$

위의 수식 결과를 M을 이용해 카메라 회전과 이동에 따른 영상면 위의 특징점 좌표를 계산한다.

$$\text{PointTransformed} = M \cdot \text{PointInImagePlane}$$

3. 카메라의 위치에서 회전/이동된 영상면의 특징점을 통과하여 지면으로 투영한 좌표를 계산한다. (x, y, z는 카메라의 위치, GroundZ는 지면의 z좌표)

$$\begin{matrix} \text{GroundZ}_t = (\text{GroundZ} - z) / (\text{PointTransformed}_z - z) \\ \text{PointGroundX} = \text{GroundZ}_t (\text{PointTransformed}_x - x) + x \\ \text{PointGroundY} = \text{GroundZ}_t (\text{PointTransformed}_y - y) + y \end{matrix}$$

### 3.3.3 Genetic algorithm으로 카메라 자세, 위치 찾기

위와 같이 영상의 특징점들에 대하여 지면의 위치를 계산할 때 이전 영상에서 계산된 지면의 대응되는 위치와의 오차를 최소화하는 카메라의 자세, 위치를 찾기 위하여 genetic 알고리즘을 이용하였다. 여기서 chromosome은 카메라 자세, 위치로 된다.

평가함수는 초기 특징점에서 계산한 지면 좌표와 비교하여 대응 특징점의 지면 좌표와의 차이가 최소가 되는 카메라 자세, 위치값을 찾는 것이다.

$$ef = \min \sum_{i=1}^n | \text{PointGroundOfBase} - \text{PointGrndByCamera}(\text{chromosome}) |$$

Mutation시에는 수행중 가장 최적의 chromosome값을 중심값으로 Gaussian 분포를 따르게 했다.

최적 카메라 자세, 위치를 찾았다면, 다음 단계 역시 위의 과정을 반복하면 계속적으로 카메라의 자세와 위치를 구할 수 있다.

구체적인 과정은 아래와 같다.

1. 기준되는 지면상의 좌표들을 계산한다.  
이 좌표는 위에서 언급한 (과정1)을 거쳐서 초기 위치에서의 지면위의 좌표들을 얻는다
2. 카메라 자세/위치 (rx, ry, rz, x, y, z)를 임의로 생성.  
새로운 카메라의 자세/위치는 이전 카메라의 그것과 적은 차이만이 있을 것이므로, 생성값은 적전 카메라의 자세/위치를 중심으로 gaussian 분포에 따라 random하게 선택한다.
3. 위에서 구한 카메라 자세/위치에서 (과정1)을 이용해 "대응 좌표들"을 계산한다.
4. 평가함수에서 두 대응좌표 집합에서 거리 차이 값을 계산. 초기 특징점에서 계산한 지면 좌표와 random하게 생성한 카메라 자세/위치로부터 만든 대응 특징점의 지면 좌

표값을 개별적으로 차이값을 계산한다. 이 평가함수는 genetic algorithm의 선택 단계에서도 사용한다.

5. 일정 횟수 혹은 에러값이 특정 값보다 작아질 때 까지 과정 2~4를 반복한다.
6. 얻어진 카메라 자세/위치값을 이전 카메라 자세/위치값에 더하여 새로운 카메라 위치로 설정한다.
7. 새로운 카메라 자세/위치에서 mosaic할 영상을 평면에서 보았을 때의 영상으로 변환하여 변환된 영상을 mosaic한다.
8. 모든 mosaic단계에 대해서 1~6번 과정을 반복하여 전체 영상을 합성한다.

### 3.3.4 Mosaic 결과 및 장 단점

이 방식으로 mosaic한 결과는 그림 6과 같다.

#### 장점

촬영시 실제 카메라의 자세와 위치 변화를 추적할 수 있으므로, 카메라 자세에 따른 이미지 왜곡을 역으로 연산하여 바로 잡을 수 있다. 또한 촬영 항공기의 자세, 위치를 알아 낼 수 있으므로 다른 분야로의 응용도 가능하다.

#### 단점

카메라 자세/위치 검색에 사용한 genetic algorithm 특성에 의해 이전에 수행한 mosaic방식에 비교하여 월등히 많은 계산 시간이 소요되는 단점이 있다.



그림6. 3D상의 카메라를 고려한 mosaic 결과

### 4. 결론

본 논문에서는 지면을 향한 연속한 이미지에 대한 mosaic작업을 수작업 없이 자동화할 수 있는 여러 방법을 제시하였다. 새로운 방법인 3차원상 카메라 자세/위치 계산을 통한 영상의 수평 보정 mosaic를 시도 했으며 이 방법을 사용하여 임의의 위치에서의 지형정보를 가공하여 볼 수 있는 시스템으로 확장할 수 있으며, 카메라 위치 정보를 이용한 다른 응용 분야로의 연구로 발전할 수 있다.

### 5. 참고문헌

- [1] Jung-Sup Um, "Evaluating Operational Potential of Video Strip Mapping in Monitoring Reinstatement of a Pipeline Route", Doctor of Philosophy at Faculty of Science at Aberdeen University, 1997
- [2] Lisa Gottesfeld Brown, "A Survey of Image Registration Techniques", *ACM Computing Surveys*, Vol. 24, No. 4, December 1992
- [3] Bruce D. Lucas and Takeo Kanade, "An Iterative Image Registration Technique with an Application to Stereo Vision", *Intenational Joint Conference on Artificial Intelligence*, pp.674-679, 1981
- [4] Paul S. Heckbert, "Fundamentals of Texture Mapping and Image Warping", Master's Thesis under the direction of Carlo Sequin, 1989
- [5] Richard L. Marks, Stephen M. Rock, Michael J. Lee "Real-Time Video Mosaicking of th Ocean Floor", *IEEE Journal of oceanic engineering*, Vol. 20, No. 3, July 1995