

광역관찰 카메라 시스템을 위한 카메라의 대응관계 계산

Correspondence Estimation for Wide Area Watching Camera System

*이 동 휘, 최 승 현, 이 칠 우
전남대학교 대학원 컴퓨터공학과
전화 : (062) 530-0258 / 팩스 : (062) 530-1809

*Dong Hwi Lee, Seung Hyun Choi, Chil Woo Lee
Department of Computer Engineering, Chonnam National University
E-mail : leedh@image.chonnam.ac.kr, shchoi@image.chonnam.ac.kr leecw@chonnam.ac.kr

Abstract

The automatic construction of large, high-resolution image mosaics is an active area of reasearch in the fields of photogrammetry, computer vision, image processing, and computer graphics. In this study, we describe a automatic mosaicing method that makes a panorama from images by placing camera in a emitted-grid. In the images captured by cameras, there must be a matched area and the area is in the particular area of the image. Initial transformation matrix, therefore, is calculated from points searched in the partial area. It is possible to find best transformation matrix by Levenberg-Marquardt method. Finally, each images are multiplied by blending function and stitched by the transformation matrix to complete panoramic image.

I. 서 론

최근 영상 모자이킹 기술이 컴퓨터 비전 분야의 매우 흥미로운 테마로 자리잡아가고 있다. 이 기술은 우주 및 항공 사진의 해석, 컴퓨터 그래픽스의 페인팅 시스템, 사진의 가공 등 폭넓은 분야에 응용되고 있다.

모자이킹 기술은 임의의 시점에서 촬영한 영상들을 하나의 광역영상으로 통합시킴은 물론 시점을 달리하여

영상을 표현할 수 있기 때문에 건축물 내부와 같이 복잡한 장면을 그래픽 모델을 제작하지 않고도 간단한 변환에 의해 생성할 수 있으므로 영상 생성이 필요한 각종 응용 시스템에서 이용될 수 있다.

이와 관련하여 원격지에서 촬영된 영상들을 네트워크로 전송 받은 후 실시간 모자이킹을 통하여 광역 영상을 생성하는 연구가 진행되고 있다. 본 논문에서는 실시간으로 영상을 합성하기 위하여 방사 그리드형으로 배치된 카메라들로부터 얻어진 영상들의 대응관계를 빠르게 계산하는 방법에 대하여 기술하고자 한다.

II. 방사그리드형 영상 모자이크

모자이킹 기술은 근본적으로 그래픽스에서 사용하는 영상왜곡(Image Warping) 이론과 컴퓨터 비전에서 사용하는 투영변환(Perspective Transformation) 이론을 결합한 기술이다. 이 기술은 임의의 영상을 새로운 영상으로 변환시키기 때문에 각종 파라미터를 고려해야 되나 파라미터가 많으면 많을수록 계산이 복잡하여 처리시간이 길어질 뿐만 아니라, 극소 극소점에 수렴할 가능성이 있어 바람직하지 않다.

본 논문에서는 넓은 영역의 영상을 실시간으로 전달하기 위하여 다수의 영상을 방사 그리드형으로 배치한 카메라를 통해 얻고 이들 영상간의 대응점 검색 시간과 대응관계를 효과적으로 단축시키는 방법을 제안한다. 제안하는 방법을 크게 도식화하면 그림 1과 같다.

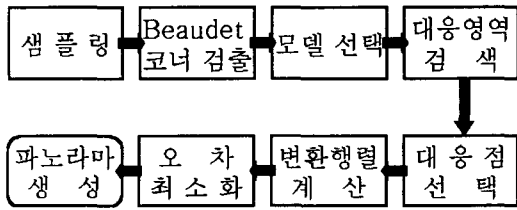


그림 1 제안하는 영상 모자이크의 전체 흐름도

처리과정에 대한 자세한 설명은 II.2 이후에서 기술하도록 한다.

II.1 광역관찰 시스템(WAWACAM)의 개요

WAWACAM(Wide Area Watching Camera)은 광역관찰 시스템으로써 방사그리드형으로 배치된 카메라로부터 들어오는 동영상 스트림을 모자이크하여 다수의 사용자가 인터넷을 통해 원격지에서 마치 자신만의 카메라를 조작하는 듯한 영상을 생성하여 광역의 장면을 탐색할 수 있도록 한다.

그림 2는 WAWACAM 시스템의 구성을 도식화 한 것이다. 그림에서와 같이 본 시스템은 크게 3개의 부분으로 나뉘는데 영상을 입력받아 스트림 서버로 전달하는 “입력단말”, 다수의 스트림을 전달받아 사용자가 원하는 영역과 인접한 스트림을 선택하여 분배하는 “스트림 선택 및 분배 서버”, 그리고 3차원 원통에 스트림을 매핑하여 사용자로 하여금 입의 시점에서 광역영상을 탐색하도록 하는 “모자의 클라이언트”로 구성되어 있다.

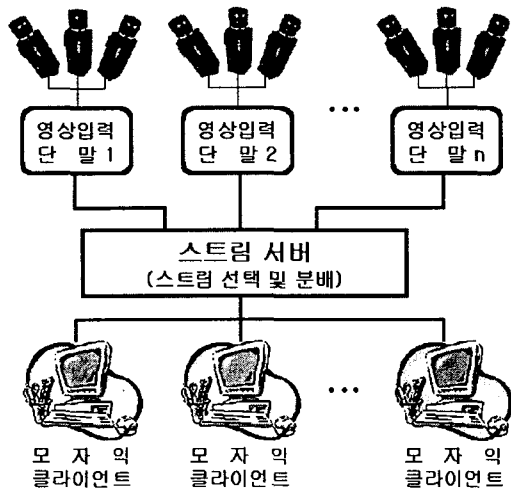


그림 2 WAWACAM 시스템의 구성도

II.2 대응점 검색

방사그리드형 카메라란 그림 3과 같이 여러대의 카

메라의 촬영하는 영역이 서로 겹치도록 좌우·상하 일정한 간격의 방사형으로 배치된 카메라 세트를 말한다.

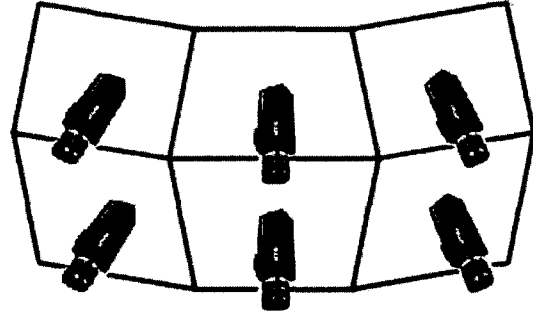


그림 3 방사그리드형 카메라 배치

이렇게 카메라를 배치할 경우 각 영상간의 겹치는 부분이 나타날 영역을 대략 예상할 수가 있다. 또, 카메라가 완전히 고정되어 있다고 가정한다면 초기에 계산된 변환행렬을 토대로 영상 스트림을 지속적으로 워핑하여 실시간적인 처리가 가능하게 한다.

인접하는 카메라로부터 얻어진 영상간의 중첩영역은 대략 영상의 3분의1 영역에 존재한다. 따라서, 중첩영역이 나타날 가능성이 있는 부분영역에서 검색을 실시한다.

검색 속도를 향상시키기 위하여 그림 1에서와 같이 부분영역에 대하여 샘플링 한 후 Beaudet 코너 검출기를 사용하여 특징점들을 추출한다. 이 방법은 헷세 행렬(Hessian Matrix)를 이용하여 영상의 밝기가 급격히 변하는 점(코너 점)을 후보로 선택한다. 특징점 추출을 위한 가우스 곡률 계산식은 식(1)과 같다.

$$k = \frac{|H|}{1 + I_x^2 + I_y^2}, \quad H = \begin{bmatrix} I_{xx} & I_{xy} \\ I_{yx} & I_{yy} \end{bmatrix} \quad \text{식(1)}$$

k : 가우스곡률
 H : 헷세행렬

특징점이 추출되면 기준 영상에 대하여 비교 검색할 입력영상의 모델 영역을 결정해야 한다. 모델 영역은 일정 크기의 영역에 포함된 특징점의 개수에 의하여 결정되며 특징점이 많은 순으로 정렬한다.

결정된 모델 영역을 기준영상에서 겹치는 영역의 오차가 문턱치(threshold)를 넘지 않는 영역을 찾는다. 오차를 구하는 식은 다음과 같다.

$$E = \sum [I'(x', y') - I(x, y)]^2 = \sum e^2 \quad \text{식(2)}$$

II.3 변환행렬 계산

2차원 평면투영 변환은 다음의 식을 이용하여 계산되어진다.

$$x' \sim Mx = \begin{bmatrix} m_0 & m_1 & m_2 \\ m_3 & m_4 & m_5 \\ m_6 & m_7 & m_8 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$\begin{aligned} m_0, m_1, m_3, m_4 &: \text{회전과 크기요소} \\ m_2, m_5 &: \text{이동요소} \\ m_6, m_7 &: \text{비례변환요소} \\ m_8 &: 1 \end{aligned} \quad \text{식(3)}$$

구하고자 하는 변수가 8개이므로 8개의 연립방정식이 필요하고, 4개의 대응점에 의하여 두 영상간의 대응관계를 계산할 수 있다. 따라서, 검색된 중첩영역에서 4쌍의 대응점을 선택하여야 한다. 이 때 대응점은 변환행렬의 오차를 줄이기 위해 각 점들간의 거리가 최대가 되도록 선택한다.

식(3)은 식(4)와 같이 다시 정리할 수 있다.

$$\begin{aligned} x' &= \frac{m_0x + m_1y + m_2}{m_6x + m_7y + 1} \\ y' &= \frac{m_3x + m_4y + m_5}{m_6x + m_7y + 1} \end{aligned} \quad \text{식(4)}$$

초기 변환행렬 M 은 4개의 대응점을 통해 구할 수 있는 데 주어진 대응점은 선형방정식을 통해 식(5)와 같이 정의할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ x_2 \\ y_2 \\ x_3 \\ y_3 \\ x_4 \\ y_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 & y_1 & 1 & 0 & 0 & 0 & -x_1x_1 & -x_1y_1 \\ 0 & 0 & 0 & x_1 & y_1 & 1 & -y_1x_1 & -y_1y_1 \\ x_2 & y_2 & 1 & 0 & 0 & 0 & -x_2x_2 & -x_2y_2 \\ 0 & 0 & 0 & x_2 & y_2 & 1 & -y_2x_2 & -y_2y_2 \\ x_3 & y_3 & 1 & 0 & 0 & 0 & -x_3x_3 & -x_3y_3 \\ 0 & 0 & 0 & x_3 & y_3 & 1 & -y_3x_3 & -y_3y_3 \\ x_4 & y_4 & 1 & 0 & 0 & 0 & -x_4x_4 & -x_4y_4 \\ 0 & 0 & 0 & x_4 & y_4 & 1 & -y_4x_4 & -y_4y_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} m_0 \\ m_1 \\ m_2 \\ m_3 \\ m_4 \\ m_5 \\ m_6 \\ m_7 \end{bmatrix} \quad \text{식(5)}$$

이렇게 계산되어진 초기 변환행렬은 완전한 대응점을 토대로 구해진 것이 아니기 때문에 오차를 갖게 된다. 따라서, Leveberg-Marquardt 방법을 이용하여 오차를 최소화한다.¹⁾ 중첩영역안에 최소화되는 에러 e_i 를 구해 새로운 변환 행렬 M 을 결정하는 방법으로 알

1) 이 방법은 비선형계의 최적치를 구하는 알고리즘이다.

려지지 않은 운동 요소 $\{m_0, \dots, m_7\}$ 의 함수인 e_i 의 편미분 값을 이용한다. e_i 는 식(6)과 같이 정의한다.

$$e_i = I'(x_i', y_i') - I(x_i, y_i) \quad \text{식(6)}$$

여기에서 8개의 대응되는 운동요소의 미분은 식(4)로부터 다음과 같이 구해진다.

$$\begin{aligned} \frac{\partial e}{\partial m_3} &= \frac{\partial e}{\partial m_0} = \frac{\partial x}{D_i} \frac{\partial I'}{\partial x'} \\ \frac{\partial e}{\partial m_4} &= \frac{\partial e}{\partial m_1} = \frac{\partial y}{D_i} \frac{\partial I'}{\partial x'} \\ \frac{\partial e}{\partial m_5} &= \frac{\partial e}{\partial m_2} = \frac{1}{D_i} \frac{\partial I'}{\partial x'} \\ \frac{\partial e}{\partial m_6} &= -\frac{x}{D_i} (x' \frac{\partial I'}{\partial x'} + y' \frac{\partial I'}{\partial y'}) \\ \frac{\partial e}{\partial m_7} &= -\frac{y}{D_i} (x' \frac{\partial I'}{\partial x'} + y' \frac{\partial I'}{\partial y'}) \end{aligned} \quad \text{식(7)}$$

식(7)에서 D 는 식(4)의 분모를 나타낸다. 위의 편미분으로부터 Levenberg-Marquardt 알고리즘을 계산해 식(8)과 같이 헷세 행렬 A 와 무게 기울기 벡터 (Weighted Gradient Vector) b 를 계산할 수 있다.

$$\begin{aligned} A &= a_{ki} = \sum_i \frac{\partial e_i}{\partial m_k} \frac{\partial e_i}{\partial m_i} \\ b &= b_k = -\sum_i \frac{\partial e_i}{\partial m_k} \end{aligned} \quad \text{식(8)}$$

이 결과를 알고리즘의 변위 계산식 $\Delta m = (A + \lambda I)^{-1} b$ 에 대입하여 운동 변수 m 을 계산하는 것이 가능하다. 여기에서 λ 는 반복 계산에 대한 안정화 변수이다. 이 값은 식(6)에서 오차를 측정했을 때 이전단계에서 최소화를 수행한 것보다 에러가 증가하면 그 값을 감소시키고, 감소하면 증가시켜 새로운 운동변수 Δm 을 계산해 최적의 변환행렬 M 을 구한다. 본 논문에서는 독립된 영역에 대해서만 위 알고리즘을 수행하여 최적의 변환행렬 M 을 구하고, 결정된 변환행렬을 모자이크 할 전체 영역에 최종적으로 적용시켜 계산시간을 줄였다.

II.4 최종 영상 합성

최종적으로 2개의 영상을 합성하기 전에 각 영상에 블렌딩을 수행하여야 한다. 카메라로부터 얻어진 영상은 시선방

향과 광원의 영향에 의해 영상들 사이에 밝기 차이가 나타나게 되며 이러한 이유로 재구성된 영상은 경계선을 가지게 된다. 영상간의 경계선을 제거하기 위하여 가중평균 (Weighted Average)을 적용한 방법을 사용한다.

이제 마지막으로 입력영상을 기준 영상에 대한 대응관계, 즉 2차원 투영변환 행렬을 적용하여 합성함으로써 하나의 광역영상이 나타나게 된다.

III. 실험 결과

실험환경은 Pentium II-400, RAM 196MB, AGP 16M, SONY EVI-G20, HICHIPS Capture Board(640*480 30 frame/sec)를 사용했다. 표 1은 입력영상의 개수를 달리하면서 각 프로세스에서의 소요시간을 차례로 얻어낸 결과이다. 표를 보면 오차 최소화에 가장 많은 시간이 소요되었는데 이는 변환행렬을 적용한 영상을 기준영상과 비교하기 위하여 영상보간 (Bilinear Interpolation)법을 사용하기 때문이다.

(단위: 초)

	2개	4개	6개
샘플링	0.08	0.13	0.17
특정점 검출	0.15	0.24	0.49
대응점 검색	0.52	1.13	2.35
오차 최소화	1.09	2.41	3.95
블렌딩 및 모자이크	0.78	1.61	3.52

표 1 입력영상의 개수에 따른 각 프로세스에서의 소요시간

또, 그림 4와 그림 5는 방사그리드형 카메라로부터 얻어진 영상과 그것을 합성한 결과이다.

IV. 결론 및 향후 연구계획

본 논문에서는 방사그리드형으로 배치된 카메라로부터 얻어진 영상을 빠른 속도로 모자이크하는 방법에 대하여 기술하였다. 입력된 영상에서의 중첩영역을 대략적으로 예상이 가능하여 한정된 부분영상에서 대응점을 찾아낸 후 초기 변환행렬을 구한다. 오차가 포함되어 있는 초기 변환행렬에 Levenberg-Marquardt 방법을 사용하면 최적의 해를 구할 수 있다. 이러한 알고리즘을 이용하여 실시간 처리가 가능한 광역관찰 시스템(WAWACAM)의 제작이 가능하게 된다. 광역관찰 시스템에서는 고속 모자이크 방법뿐만 아니라 시간차가 있는 영상들을 정확하게 합성할 수 있는 알고리즘이 절실히 필요하게 되는 데 앞으로 효과적인 시차 극복 알고리즘에 대한 연구를 계속적으로 진행할 계획이다.

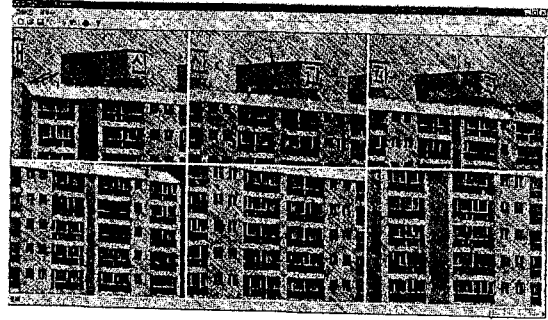


그림 4 카메라에서 얻어진 영상

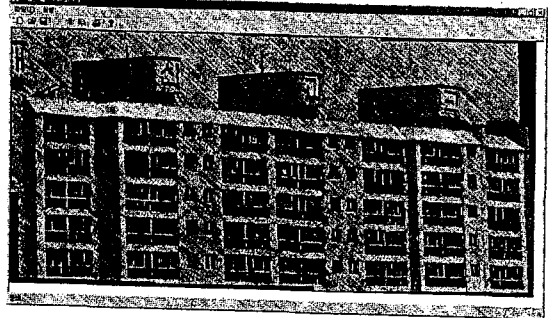


그림 5 파노라마 합성 결과

참고문헌

- [1] R. Szeliski, "Video mosaics for virtual environments", IEEE Computer Graphics and Application, P22-30, March 1996
- [2] R. Szeliski, "Image Mosaicing for Tele-Reality Application", CRL Technical Report 94/2, Digital Equipment Corporation, 1994
- [3] S. E. Chen, "QuickTime VR - an image-based approach to virtual environment navigation", Computer Graphics(SIGGRAPH'95), pages 29-38, August 1995
- [4] Heung-Yeung Shum, R. Szeliski, "Panoramic image mosaicing", Technical Report MSR-TR-97-23, Microsoft Research, 1997
- [5] 고종호, 이철우, "특징기반 영상 모자이크", IPIU2000(제 12회 영상 처리 및 이해에 관한 워크샵), pp275-280, 2000. 1