

변형된 블록 정합을 이용한 이미지 모자이크

김대현, 윤용인, 최종수
중앙대학교 첨단영상전문대학원 영상공학과

Image Mosaicing using Modified Block Matching Algorithm

Dae-Hyun Kim, Yong-In Yoon, Jong-Soo Choi

Dept. of Image Eng., Graduate School of Advanced Imaging Science, Multimedia, and Film, Chung-Ang Univ.
e-mail : jschoi@cau.ac.kr

요 약

본 논문에서는 영상의 화소값으로부터 추출된 유사 특징점(quasi-feature point)을 이용한 이미지 모자이크 알고리즘을 제안한다. 유사 특징점의 선택은 전역 정합(global matching)의 결과로부터 중첩된 영역을 4개의 부영역(sub-area)으로 분할하고, 각각의 분할된 부영역에서 국부 분산(local variance)의 크기가 큰 블록을 선정, 이 블록의 중심 화소를 유사 특징점으로 선택한다. 유사 특징점에 대한 정합은 카메라 이동에 따른 왜곡(distortion)과 조명의 변화를 고려한 블록 정합 알고리즘(block matching algorithm)을 이용한다.

1. 서론

고해상도의 모자이크 영상(image mosaic)의 자동적인 생성은 최근 컴퓨터 비전(computer vision)과 영상처리(image processing), 컴퓨터 그래픽스(computer graphics)의 분야에서 활발한 연구가 진행되고 있다. 기존의 이미지 모자이크는 항공 및 위성 사진의 제작에 주로 사용되었으며, 최근에는 비디오 영상에서 장면 전환 검출(scene change detection), 비디오 영상 압축 및 색인(video compression & index)등에 응용되고 있다[1].

비 보정 카메라(uncalibrated camera)로부터 입력된 영상의 시퀀스로부터 하나의 통합된 영상으로 모자이크(mosaicing)하는 방법은 크게 두 가지로 나누어진다. 첫 번째는 영상의 기하학적인 정보(geometrical information), 예를 들면, 코너(corner), 에지(edge), 라인(line) 등의 정보를 이용하는 방법이다[3]. 이 방법은 영상의 기하학적인 정보를 이용하기 때문에 두 영상간의 투영 관계(projective transform)를 정확히 찾을 수 있다. 그러나 특징점들간의 대응관계(correspondence)를 찾아야 하기 때문에 많은 반복을 요구한다. 또한 각 특징점에 대한 강건한 모델링이 필요하다.

*Acknowledgments

본 연구는 교육부 두뇌 한국21(BK21) 사업에 의해 수행되었습니다.

두 번째는 영상의 화소값으로부터 직접 두 영상간의 투영 관계식을 유도하는 것이다[1][2]. 이 방법은 특징점들간의 대응관계를 찾을 필요가 없지만, 대신에 두 영상의 중첩된 영역에 대한 비선형 방정식의 해를 구해야 한다. 따라서 이 방법 역시 많은 반복을 요구한다.

본 논문에서는 영상의 기하학적인 특징점이 아닌 화소값으로부터 추출된 유사 특징점(quasi-feature points)을 이용한다. 유사 특징점의 선택은 푸리에 변환식(Fourier method)을 이용한 전역 정합(global matching)의 결과로부터 두 영상의 중첩된 영역을 4개의 부영역(sub-area)으로 분할하고, 각각의 분할된 부영역에서 국부 분산(local variance)의 크기가 큰 블록을 선정, 이 블록의 중심 화소를 유사 특징점으로 선택한다. 유사 특징점에 대한 정합은 변형된 블록 정합 알고리즘(block matching algorithm)을 이용한다.

또한 카메라의 이동에 따른 영상의 왜곡(distortion)을 고려하여 가중치 함수를 정의하여 영상의 왜곡에 따른 변화를 감쇄시킬 수 있다. 뿐만 아니라 조명 변화에 따른 화소값의 변화를 고려하여 히스토그램 평활화(histogram equalization)를 적용, 조명 변화에도 덜 민감하게 하였다.

2. 영상의 중첩 영역 및 유사 특징점 추출

카메라로부터 입력된 영상 시퀀스는 서로 중첩된 정보를 가지게 된다. 연속된 두 장의 영상에서 중첩된 영역은 서로 공통된 정보를 가지고 있기 때문에, 중첩 영역 내에서의 대응관계로부터 두 영상간의 변환 관계식을 유도할 수 있다.

2.1 위상 상관관계를 이용한 중첩 영역 추출

푸리에 변환(Fourier transform)은 주파수 공간에서 최적화된 정합(matching)을 검색한다. 또한 다른 방법에 비해 계산량이 적으며, 잡음에 대해서도 강건한 성질을 갖는다[4].

연속된 두 장의 영상을 각각 $f_1(x, y)$, $f_2(x, y)$, 그리고 각각의 푸리에 변환을 $F_1(u, v)$, $F_2(u, v)$ 라고 하자. 그리고 두 영상이 (x_0, y_0) 만큼 떨어져 있다고 하면, 두 영상 f_1, f_2 의 cross-power spectrum은 식(1)과

같이 정의된다.

$$\frac{F_1(u,v) \cdot F_2^*(u,v)}{|F_1(u,v) \cdot F_2(u,v)|} = \exp(-j2\pi(ux_0 + vy_0)) \quad (1)$$

여기서 F^* 은 F 의 켈레수(complex conjugate)를 의미한다. 식(1)을 역변환하면 공간상에서 임펄스를 나타낸다. 이 임펄스의 위치가 곧 두 영상의 변위를 나타낸다. 그림 1에서 이 결과를 보여준다.

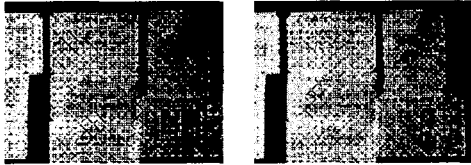


그림 1. Fourier method를 적용한 결과

2.2 유사 특징점 추출 및 정합

두 영상간의 투영 관계식을 유도하기 위해서는 4개의 대응점(correspondence)을 알아야 한다. 따라서 푸리에 변환식으로부터 추출된 중첩 영역에서 4개의 특징점을 선택한다. 우선, 중첩된 영역을 4개의 부 영역(sub-area)으로 나누고, 각 부 영역에서 국부 분산(local variance)이 가장 큰 블록을 찾아낸다. 찾아진 블록의 중심 좌표를 유사 특징점(quasi-feature)으로 선택한다.

2.2.1 히스토그램 평활화(Histogram equalization)

카메라로 입력되는 영상은 주변의 조명 변화에 따라 영상의 밝기(brightness)와 대비도(contrast)의 변화가 발생한다. 따라서 두 영상의 강건한 비교를 위해서는 조명 변화에 대한 고려가 필요하다.

히스토그램 평활화는 영상 전체의 화소값을 일정하게 분산시키기 때문에 영상 전체의 밝기와 대비를 일정하게 한다. 따라서 조명의 변화가 있는 두 영상간의 비교를 가능하게 한다[6][8].

2.2.2 변형된 블록 정합 알고리즘

카메라의 이동으로 인해 영상은 왜곡(distortion)된다. 따라서 영상의 강건한 정합을 위해서는 이러한 왜곡에 대한 고려가 필요하다. 영상의 왜곡은 왜곡이 최소가 되는 위치에서 멀어질수록 왜곡의 정도는 증가한다. 즉, 왜곡이 작은 부분에서는 오차의 크기 작지만, 거리가 멀어질수록 이러한 오차는 증가하게 된다[7]. 따라서 블록의 중심에서 거리에 비례하는 가중치 함수를 식(2)에서 정의한다. 이 가중치 함수는 왜곡이 상대적으로 적게 일어나는 중심 부분의 오차는 줄여주지만, 중심으로부터 멀리 떨어진 부분의 왜곡의 크기를 상대적으로 증가시켜, 최적의 블록 정합을 가능하게 한다.

$$w_{i,j} = d_{i,j} / D, \quad -7 \leq i, j \leq 7, \quad D: \text{max. distance} \quad (2)$$

또한 유사 특징점 추출 단계에서 분산을 이용하였으므로 정합 평가 함수(matching criteria)에 분산 성분을 포함시켜 정합의 강건함을 증가시켰다. 본 논문에서는 블록 정합에서 일반적으로 사용하는 minimum MAD (Mean Absolute Difference)에 가중치 함수와 BVD(Block Variance Difference)를 합쳐 변형된 블록 정합 평가 함수를 식(3)에서 제안한다. 실험 결과를 통해 알 수 있듯이, 일반적인 블록 정합 알고리즘에 비해 보다 강건함을 알 수 있다.

$$E(d_x, d_y) = \left[\sum_{(x,y) \in B} |s(x,y,k) - s(x+d_x, y+d_y, k+1)| \cdot w_{i,j} + |\text{var}(x,y,k) - \text{var}(x+d_x, y+d_y, k+1)| \right]^{1/2}$$

$$[\hat{d}_x, \hat{d}_y] = \arg \min_{(d_x, d_y)} E(d_x, d_y) \quad (3)$$



그림 2. 정합 결과 영상
유사 특징점(왼쪽) 및 대응점(오른쪽)

3. 평면 투영 변환

한 평면 위의 점들이 시선각(view point)이 다른 두 장의 영상으로 투영되는 평면 투영변환의 경우를 고려하자. 그림 3은 이러한 변환 관계를 나타내고 있다.

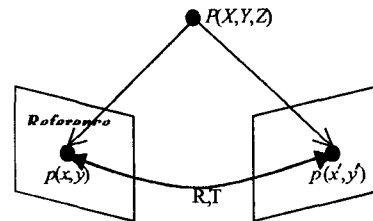


그림 3. 투영 변환의 원리

두 점 $p(x,y)$, $p'(x,y)$ 의 변환 관계식은 식(4)-(6)으로부터 얻어진다. V 는 카메라 내부 파라미터(intrinsic parameter)를 나타낸다.

$$p = V \cdot P \Leftrightarrow P = V^{-1} \cdot p \quad (4)$$

$$p' = V \cdot T \cdot R \cdot P = V \cdot T \cdot R \cdot V^{-1} \cdot p = M_{projective} \cdot p \quad (5)$$

$$M_{projective} = \begin{bmatrix} m_0 & m_1 & m_2 \\ m_3 & m_4 & m_5 \\ m_6 & m_7 & m_8 \end{bmatrix} \quad (6)$$

$M_{projective}$ 는 궁극적으로 유도하려는 변환 행렬이다. 일반적으로 $m_8 \neq 0$ 이면 $m_8 = 1$ 로 정의한다. 식(6)의 관계를 이용하면 식(7)과 같은 방정식으로 대응관계를 얻을 수 있다. 여기에 2장에서 추출한 4개의 대응점을 대입하면 식(8)과 같은 선형방정식을 유도할 수 있다.

$$\begin{aligned} x'_k &= \frac{m_0 x_k + m_1 y_k + m_2}{m_6 x_k + m_7 y_k + m_8} \\ y'_k &= \frac{m_3 x_k + m_4 y_k + m_5}{m_6 x_k + m_7 y_k + m_8} \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} m_0 x_k + m_1 y_k + m_2 - m_6 x_k x'_k - m_7 y_k x'_k &= x'_k \\ m_3 x_k + m_4 y_k + m_5 - m_6 x_k y'_k - m_7 y_k y'_k &= y'_k, k=1,2,3,4 \end{aligned} \quad (8)$$

유도된 선형 방정식을 계산하면 연속된 영상들간의 변환 관계식을 얻을 수 있다. 또한 계산 과정에서는 어떠한 반복도 필요하지 않다.

4. 실험 및 토의

본 실험에서는 그림 4에서 보여주는 총 5개의 쌍을 이용하여 실험하였다. 실험 영상의 크기는 320x240이며, 정합에 사용된 블록은 15x15, 탐색 영역은 32x32를 사용하였다.

기존의 방법들과의 비교를 위해, 식(9)와 같은 오차 함수를 정의하였다.

$$E = \frac{1}{N} \left\{ \sum_{(x,y) \in R} [I_k(x,y) - I_{k-1}(x,y)]^2 \right\}^{1/2} \quad (9)$$

R : overlap region

표 1에서 보여주는 것처럼 사람의 간섭으로 직접 정합 위치를 지정하는 경우 가장 오차가 작은 것으로 나타났지만, 이 경우는 자동적인 생성이 불가능하다. 그러나 본 논문에서 제한한 알고리즘은 기존의 비선형 방정식의 해를 계산하는 Levenberg Marquard Method에 비해 보다 정확할 뿐만 아니라 선형 방정식을 계산하기 때문에 계산이 간단하며, 반복이 필요 없기 때문에 연산량을 줄일 수 있다. 표 2는 기존의 블록 정합 알고리즘과 제안한 방법과의 성능 평가를 나타내며, 표 3은 BVD의 포함 여부에 따른 성능 평가를 보여준다. 결과에서 알 수 있듯이 제안한 방법이 기존의 방법들 보다 나은 성능을 보임을 알 수 있다.

그림 5는 제안된 알고리즘을 적용한 모자이크 영상을 보여준다.

5. 결론

본 논문에서는 유사 특징점(quasi-feature)을 이용한 이미지 모자이크 방법을 제안하였다. 이 방법은 기존의 방법에서 나타났던 반복적인 최적화의 문제점을 해결, 반복없이 빠르고 정확한 투영 관계식을 유도할 수 있었다. 실험 결과에서도 알 수 있듯이 제안된 알고리즘이 기존의 방법보다 적은 연산량으로 정확한 투영 변환식 유도가 가능하였다. 뿐만 아니라 변형된 블록 정합 알고리즘은 기존의 블록 정합 알고리즘에 비해 보다 정확한 정합점을 찾을 수 있었다.

본 연구와 관련된 개선해야 할 문제점은 영상 왜곡에 대한 가중치 함수에 대한 모델링이 필요하고, 영상의 합성에 있어서 경계선 제거에 대한 연구가 수반되어야 한다. 또한 여러 장의 2차원 영상으로부터 시점 변환된 영상의 재구성 및 3차원 장면 구성에 대한 연구를 함께 진행할 계획이다.

Image	Error		
	Manual Matching	Maquardt Method	Proposed Method
(1)	334.685	635.088	398.219
(2)	2374.994	2887.741	2338.182
(3)	2310.340	2602.408	1654.783
(4)	1507.370	1617.515	1659.938
(5)	105.179	166.756	145.686

표 1. 기존의 알고리즘과 성능 평가

Image	Error	
	General BMA	Proposed Method
(1)	391.594	398.219
(2)	2459.840	2338.182
(3)	2012.009	1654.783
(4)	2486.434	1659.938
(5)	140.042	145.686

표 2. 제안된 블록 정합 알고리즘과 기존의 블록 정합 알고리즘과의 성능 평가

Image	Error	
	Exclude the variation	Include the variation
(1)	381.166	398.219
(2)	2397.136	2338.182
(3)	1785.568	1654.783
(4)	1689.331	1659.938
(5)	150.314	145.686

표 3. BVD를 포함 여부에 따른 성능 평가

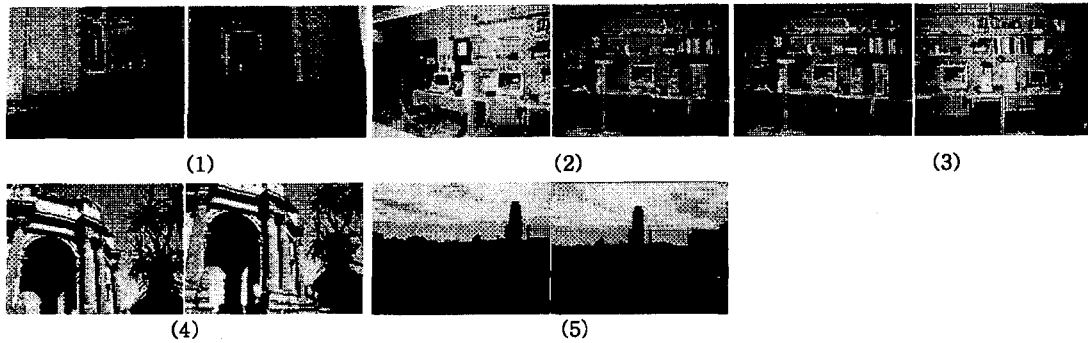


그림 4. 실험에 사용된 5개의 영상 쌍(pair)



(a) 실험영상 (1)에 대한 결과 영상 (b) 실험영상 (2)에 대한 결과 영상 (c) 실험영상 (5)에 대한 결과 영상

그림 5. 제안된 알고리즘을 적용한 이미지 모자이킹 결과 영상

참 고 문 헌

- [1] Richard Szeliski, *Image Mosaicing for Tele-Reality applications*, Cambridge Research Laboratory Technical Report, May 1994
- [2] Richard Szeliski, Sing Bing Kang, *Direct Methods for Visual Scene Reconstruction*, IEEE Workshop on Representations of Visual Scene, June 24, 1995
- [3] Zoghliami, O. Faugeras, R. Deriche, *Using geometric corners to build a 2D mosaic from a set of images*, INRIA, 2004 route des Lucioles, BP 93 France
- [4] B. Srinivasa Reddy, B. N. Chatterji, *An FFT-Based Technique for Translation, Rotation, and Scale-Invariant Image Registration*, IEEE Trans. On Image Processing, Vol.5 No.8 August 1996
- [5] Murat Tekalp, *Digital Video Processing*, Prentice Hall
- [6] Yan Huang, Xinhua Zhuang, *An Adaptively Refined Block Matching Algorithm for Motion Compensated Video Coding*, IEEE Trans. On Circuits/Systems for Video Tech. Vol.5, No.1 Feb. 1995
- [7] Her Ming Jong, L.G. Chen, T.D. Chiueh, *Accuracy Improvement and Cost Reduction of 3-Step Search Block Matching Algorithm for Video Coding*, IEEE Trans. On Circuits/Systems for Video Tech. Vol.4, No.1 Feb. 1994
- [8] Arthur R. Weeks, Jr. *Fundamentals of Electronic Image Processing*, SPIE/IEEE Press
- [9] W. H. Press, S. A. Teukolsky, W. T. Vetterling, B. P. Flannery, *Numerical Recipes in C : The Art of Scientific Computing 2nd Edition*, Cambridge Univ. Press
- [10] Gerhard X. Ritter, Joseph N. Wilson, *Handbook of Computer Vision Algorithm in Image Algebra*, CRC Press