

정규상관과 직사각형-사변형 투영 변환에 기반한 영상 모자이크

김 동 근[†] · 장 병 태^{††}

요 약

본 논문에서는 중첩되는 영상사이의 평면 투영 변환을 구하는 방법을 제안하였다. 제안한 방법은 정규 상관과 직사각형-사변형 평면 투영 변환에 기반 한다. 블록 정합을 이용하여 전역 이동을 계산하고, 중첩되는 영역의 정규 상관 계수 값을 최대로 하는 4개의 대응점을 찾기 위하여 가우시안 영상 피라미드에서 SA(simulated annealing) 알고리즘을 사용하였다. 이들 대응점에서 직사각형-사변형으로의 사상을 이용하여 평면 투영 변환을 계산하고, 마지막으로 중첩되는 영역의 RGB 컬러 값을 선형 가중치에 의해 혼합하였다. 실험으로 세 장의 영상을 한 장의 큰 모자이크 영상으로 합성하는 결과를 보였다.

Image Mosaicing Based on Normalized Correlation and Rectangle-to-Quadrilateral Perspective Transformation

Dong-Keun Kim[†] · Byung-Tae Jang^{††}

ABSTRACT

In this paper we propose an algorithm which finds the planar perspective transformation between overlapping image pairs. It is based on the normalized correlation and the rectangle-to-quadrilateral projective projection. We calculate the global translation by using a block matching. Then to find 4 correspondence points that maximize the normalized correlation between the overlapping regions, we use SA (simulated annealing) algorithm in Gaussian image pyramid. The planer perspective transformation can be calculated by the rectangle-to-quadrilateral mapping using the correspondence points. Finally, we blend RGB colors of the overlapping region by linear weights. In experiments we show results that merge 3 images into a large mosaic image.

키워드 : 투영변환(perspective transformation), 영상 모자이크(image mosaic)

1. 서 론

최근 제한된 시야(field of view)를 갖는 카메라에 의해 부분적으로 중첩되게 획득한 영상을 보다 넓은 시야를 갖는 한 장의 큰 영상을 얻기 위한 영상 모자이크(image mosaicing) 방법이 활발히 연구되고 있다[1-4]. 이러한 영상 모자이크는 컴퓨터 그래픽스에 의한 복잡한 3차원 모델을 생성하여 렌더링을 하지 않고 실사를 기반으로 가상 현실 환경을 구축하기 위한 방법으로 활발히 사용되고 있다. 합성된 모자이크 영상은 보다 현실감 있는 파노라믹 영상을 생성하기 위하여 실린더(cylindrical) 또는 구형(spherical) 좌표로 변환하여 보다 현실감 있는 환경을 제공한다.

모자이크 영상의 생성은 영상들 사이의 변환을 구하여 정

렬(alignment)하고, 영상들을 이음매 없이 혼합(blending)하여 얻는다. 이러한 방법은 영상을 기하학적으로 왜곡시키는 영상 워핑(warping)과 두 영상의 밝기 값 또는 컬러 값을 융합(cross-dissolve)하는 방법을 사용하는 영상 모핑(morphing)과 유사하지만, 모자이크 영상의 생성은 영상들간에 변환을 자동으로 생성한다. 영상들 사이의 정렬을 위한 변환으로는 이동(translation)[1], rigid 변환(translation, rotation), affine 변환(translation, scaling, rotation)[10], 평면 투영 변환(planar perspective)[1, 3, 5, 6], 등이 사용된다. 일반적으로 모자이크 영상의 영상 정렬을 위한 변환으로 평면 투영 변환을 주로 사용한다. Szeliski[3-5]는 평면 투영 변환을 계산하기 위한 방법으로 두 영상사이의 밝기 값의 오차의 제곱을 최소로 하는 변환 계수를 비 선형 최소 자승 오차법(nonlinear least square method)인 Levenberg-Marquardt(LM) 방법 사용하였다[3, 5, 6]. 이 방법은 일반적인 경사법(gradient descent)에 비해 빨리 해에 수렴하는 특징

[†] 정 회 원 : 서남대학교 컴퓨터·영상·정보통신학부 교수

^{††} 정 회 원 : 한국전자통신연구원 컴퓨터·소프트웨어연구소
가상현실(VR)연구센터 증강현실연구팀 팀장

논문접수 : 2000년 11월 13일, 심사완료 : 2001년 6월 5일

이 있으나, 경사법과 같이 지역 극 값을 찾는다. 또한 영상 밝기 차의 제곱은 대부분의 경우 만족할 만한 결과를 가져 오지만 카메라 위치, 빛의 방향, 그림자 등에 의해 영향을 받는다.

본 논문에서는 정규상관에 의한 블록 정합을 이용하여 초기 전역 이동을 계산하는 방법을 제안하고 두 영상 사이의 대응점(correspondence points)을 이용한 효율적인 투영 변환을 구하는 방법을 제안한다. 초기 전역 이동의 계산은 블록 정합을 이용하여 개별적으로 탐색한 대응점들의 위치 관계를 이용하여 정규상관계수 값이 가장 큰 대응점을 선택하여 전역이동을 계산하였다. 기준 영상에서의 직사각형이 되도록 4점을 고정시키고 중첩되는 탐색영상에서 이들에 대한 대응점을 초기 전역 이동으로 구한 대응점 근처에서 SA알고리즘을 사용하여 중첩되는 부분에서의 상관계수가 가장 큰 대응점을 구하였다. 실험으로 카메라를 회전시켜 수직 방향으로 중첩되도록 획득한 컬러 영상에서 투영 변환을 구하여 영상을 정렬하고 두 영상사이에 중첩되는 부분에서 선형 가중치를 주어 RGB 컬러를 혼합하여 합성 영상을 생성하였다.

2. 관련 연구

영상의 일부가 중첩되는 두 영상에서 평면 투영변환을 구하기 위하여 영상의 밝기 값 차의 제곱을 최소로 하는 변환 계수를 비선형 최소자승 오차법(nonlinear least square method)인 LM 방법을 사용하여 구한다[1, 3-8]. 두 영상간에 평면 투영 변환은 식 (1)과 같다.

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

위의 식을 동차 좌표(homogeneous coordinate)를 사용한 행렬로 표현하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} [u', v', w'] &= [x, y, 1] M \\ [u', v', w'] &= [x, y, 1] \begin{bmatrix} m_0 & m_3 & m_6 \\ m_1 & m_4 & m_7 \\ m_2 & m_5 & 1 \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (2)$$

$$x' = u'/w', \quad y' = v'/w'$$

m_0, m_1, m_3, m_4 는 회전, 확대축소에 관련된 계수이고, m_2, m_5 는 이동에 관련된 계수이며, m_6, m_7 은 원근에 관련된 계수이다. 두 영상사이의 밝기 값의 차의 제곱인 식 (3)를 최소화하는 두 영상 $I(x, y), I'(x', y')$ 사이의 평면 투영 변환 계수, $m_i, i=0, \dots, 7$ 를 비선형 최소자승법인 LM 방법에 의해 구한다. LM 방법은 비선형 최소자승 오차법의 표준 방법으로 비 선형 계수를 제곱오차의 그래디언트와 이

차편미분 행렬을 이용하여 반복적으로 갱신하여 구한다[10].

$$E = \sum_i e_i^2 \quad (3)$$

$$\text{여기서 } e_i = I'(x'_i, y'_i) - I(x_i, y_i)$$

e_i 는 (x_i, y_i) 화소에서의 밝기 차이이다. 위의 식 (3)에서 LM 방법을 적용하여 평면 투영변환 계수를 구하는 방법에 대하여 설명한다. 먼저 미지수인 투영 변환 계수, $m_i, i=0, \dots, 7$ 에 대한 편 미분을 구한다.

$$\frac{\partial e_i}{\partial m_0} = \frac{x_i}{D_i} \frac{\partial I'}{\partial x'}, \quad \frac{\partial e_i}{\partial m_1} = \frac{y_i}{D_i} \frac{\partial I'}{\partial x'}, \quad \frac{\partial e_i}{\partial m_2} = \frac{1}{D_i} \frac{\partial I'}{\partial x'} \quad (4)$$

$$\frac{\partial e_i}{\partial m_3} = \frac{x_i}{D_i} \frac{\partial I'}{\partial y'}, \quad \frac{\partial e_i}{\partial m_4} = \frac{y_i}{D_i} \frac{\partial I'}{\partial y'}, \quad \frac{\partial e_i}{\partial m_5} = \frac{1}{D_i} \frac{\partial I'}{\partial y'}$$

$$\frac{\partial e_i}{\partial m_6} = -\frac{x_i}{D_i} (x'_i \frac{\partial I'}{\partial x'} + y'_i \frac{\partial I'}{\partial y'}), \quad \frac{\partial e_i}{\partial m_7} = -\frac{y_i}{D_i} (x'_i \frac{\partial I'}{\partial x'} + y'_i \frac{\partial I'}{\partial y'})$$

$$D_i = m_6x_i + m_7y_i + 1$$

식 (4)에서 $(\frac{\partial I'}{\partial x'}, \frac{\partial I'}{\partial y'})$ 는 $I'(x'_i, y'_i)$ 의 영상 그래디언트이다. 위의 편 미분을 이용하여 평면 투영 변환 계수 m_i 에 대한 이차 편미분 행렬인 Hessian 행렬 A 와 가중 그래디언트 벡터 b 를 구하여 식 (5)와 같이 평면 투영 변환 계수, m_i 를 반복적으로 구한다.

$$m^{t+1} = m^t + \Delta m \quad (5)$$

$$\text{여기서 } \Delta m = (A + \lambda I)^{-1} b$$

$$A = \begin{bmatrix} \sum_i \frac{\partial e_i}{\partial m_0} \frac{\partial e_i}{\partial m_0} & \sum_i \frac{\partial e_i}{\partial m_0} \frac{\partial e_i}{\partial m_1} & \dots & \sum_i \frac{\partial e_i}{\partial m_0} \frac{\partial e_i}{\partial m_7} \\ \sum_i \frac{\partial e_i}{\partial m_1} \frac{\partial e_i}{\partial m_0} & \sum_i \frac{\partial e_i}{\partial m_1} \frac{\partial e_i}{\partial m_1} & \dots & \sum_i \frac{\partial e_i}{\partial m_1} \frac{\partial e_i}{\partial m_7} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \sum_i \frac{\partial e_i}{\partial m_7} \frac{\partial e_i}{\partial m_0} & \sum_i \frac{\partial e_i}{\partial m_7} \frac{\partial e_i}{\partial m_1} & \dots & \sum_i \frac{\partial e_i}{\partial m_7} \frac{\partial e_i}{\partial m_7} \end{bmatrix}$$

$$b = \begin{bmatrix} -2 \sum_i e_i \frac{\partial e_i}{\partial m_0} \\ -2 \sum_i e_i \frac{\partial e_i}{\partial m_1} \\ \dots \\ -2 \sum_i e_i \frac{\partial e_i}{\partial m_7} \end{bmatrix}, \quad m = \begin{bmatrix} m_0 \\ m_1 \\ \dots \\ m_7 \end{bmatrix}$$

투영 변환 계수에 대한 초기해, m^0 가 주어지면 식 (1)에 의해 각 화소 (x_i, y_i) 의 대응하는 (x'_i, y'_i) 를 구한 다음, 식 (3)의 대응되는 화소간의 밝기 차 e_i 를 구하고, 영상 그래디언트 $(\frac{\partial I'}{\partial x'}, \frac{\partial I'}{\partial y'})$ 를 구한다. 이때 변환 영상 $I'(x'_i, y'_i)$ 이 불연속일 수 있으므로 이중선형 보간(bilinear interpolation)을 이용하여 밝기 값을 보간을 하여 영상 그래디언트를 구한다. 다음은 투영 변환 계수, $m_i, i=0, \dots, 7$ 에 대한 편 미분을 구하고, Hessian 행렬 A 와 가중 그래디언트 벡터 b 를 구하여 식 (5)에 의해 반복적으로 갱신한

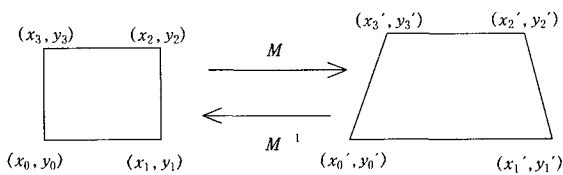
다. 식 (5)에 의해 m' 를 m'^{t+1} 로 갱신한 후에 식 (3)의 두 영상사이의 밝기 값 차의 제곱을 계산하여, 감소하지 않으면 λ 의 값을 증가시켜 다시 계산한다. 예를 들어 $t=0$ 에서 $\lambda=0.001$ 으로 하고, 두 영상사이의 밝기 값 차의 제곱이 감소하지 않으면 $\lambda=\lambda \times 10$ 으로 값을 증가시켜 다시 계산한다. 이러한 방법은 단순한 그래디언트 강하법(gradient decent)에 비해 매우 빨리 해를 찾을 수 있는 장점이 있으나 초기 값이 해의 근처에 있어야 원하는 해를 찾을 수 있다. 또한 영상 밝기 차의 제곱을 최소화하는 LM 방법은 대부분의 경우 만족할 만한 결과를 가져오지만 카메라 위치, 빛의 방향, 그림자 등에 의해 영향을 받는다. 본 논문에서는 위의 LM 방법을 구현하여, 제안하는 두 영상 사이의 정규 상관(normal correlation)과 직사각형 사변형 평면 투영 변환을 기반으로 제안 방법과 비교하고자 한다.

3. 제안된 투영 변환 정합 알고리즘

3.1 직사각형-사변형 평면 투영 변환

평면 투영 변환은 직선을 직선으로 변환하며, 사변형(quadrilateral)을 사변형으로 변환한다. 두 영상사이에 4개의 대응점(corresponding points)이 있으면 식 (1)의 평면 투영 변환 계수 $m_i, i=0, \dots, 7$ 을 선형방정식의 해에 의해 구할 수 있다. 역 투영 변환(inverse perspective transformation) 역시 선형방정식의 해에 의해 구할 수 있다. 4개 이상의 대응점이 있을 경우 최소 자승 법으로 구한다. 특수한 경우인 단위 정사각형에서 사변형(quadrilateral)으로의 평면 투영 변환 및 역 투영 변환은 선형방정식의 해를 계산하지 않고 대수적으로 계산할 수 있다[11, 12].

본 논문에서는 카메라를 수평 방향으로 회전시켜 얻은 수직으로 중첩되는 두 영상에서 기준 영상의 직사각형을 정의하는 고정된 4점 $(x_0, y_0), (x_1, y_1), (x_2, y_2), (x_3, y_3)$ 에 대응하는 중첩되는 탐색 영상의 사변형 4점 $(x'_0, y'_0), (x'_1, y'_1), (x'_2, y'_2), (x'_3, y'_3)$ 을 정규 상관에 의해 구하고, 4 쌍의 대응점을 이용하여 평면 투영 변환과 역 투영변환을 구한다. 대응점들의 관계는 (그림 1)과 같다.



(그림 1) 임의의 크기 직사각형에서 사변형으로 평면 투영 변환

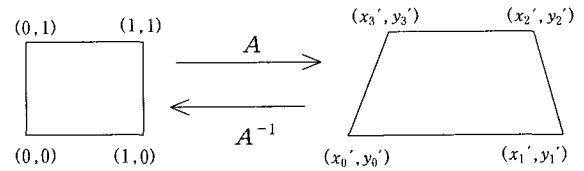
먼저 (그림 2)와 같이 $(0, 0), (1, 0), (0, 1), (1, 1)$ 에 의해 정의되는 단위 정사각형에서 $(x'_0, y'_0), (x'_1, y'_1), (x'_2, y'_2),$

(x'_3, y'_3) 에 의한 사변형으로의 평면 투영 변환을 A 를 구한다.

$$[u', v', w'] = [x, y, 1] A$$

$$[u', v', w'] = [x, y, 1] \begin{bmatrix} a_0 & a_3 & a_6 \\ a_1 & a_4 & a_7 \\ a_2 & a_5 & 1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$x' = u'/w', y' = v'/w'$$



(그림 2) 단위 정사각형에서 사변형으로 평면 투영 변환

단위 정사각형에서 사변형으로 평면 투영 변환은 아래의 식 (7), 식 (8), 식 (9)에 의해 구해진다. 식 (7)에 의해 $\wedge x'_3=0$ 이고 $\wedge y'_3=0$ 이면 아핀 변환(affine transformation)이고, 만약 $\wedge x'_3 \neq 0$ 또는 $\wedge y'_3 \neq 0$ 이면 투영 변환이다.

$$\begin{aligned} \wedge x'_1 &= x'_1 - x'_2, \wedge x'_2 = x'_3 - x'_2 \\ \wedge x'_3 &= x'_0 - x'_1 + x'_2 - x'_3 \\ \wedge y'_1 &= y'_1 - y'_2, \wedge y'_2 = y'_3 - y'_2 \\ \wedge y'_3 &= y'_0 - y'_1 + y'_2 - y'_3 \end{aligned} \quad (7)$$

만약 $\wedge x'_3=0$ 이고 $\wedge y'_3=0$ 이면 아핀 변환으로 변환 계수는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} a_0 &= x'_1 - x'_0 \\ a_1 &= x'_2 - x'_1 \\ a_2 &= x'_0 \\ a_3 &= y'_1 - y'_0 \\ a_4 &= y'_2 - y'_1 \\ a_5 &= y'_0 \\ a_6 &= 0 \\ a_7 &= 0 \end{aligned} \quad (8)$$

만약 $\wedge x'_3 \neq 0$ 또는 $\wedge y'_3 \neq 0$ 이면 투영 변환으로 변환 계수는 다음과 같다.

$$a_6 = \frac{\wedge x'_3 \wedge y'_3 - \wedge x'_2 \wedge y'_3}{\wedge x'_1 \wedge y'_2 - \wedge y'_1 \wedge x'_2} \quad (9)$$

$$a_7 = \frac{\wedge x'_1 \wedge y'_3 - \wedge y'_1 \wedge x'_3}{\wedge x'_1 \wedge y'_2 - \wedge y'_1 \wedge x'_2}$$

$$\begin{aligned} a_0 &= x'_1 - x'_0 + a_6 x'_1 \\ a_1 &= x'_3 - x'_0 + a_7 x'_3 \\ a_2 &= x'_0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a_3 &= y_1' - y_0' + a_6 y_1' \\ a_4 &= y_3' - y_0' + a_7 y_3' \\ a_5 &= y_0' \end{aligned}$$

식 (7), 식 (8), 식 (9)에 의해 구한 단위 정사각형에서 사변형으로의 평면 투영 변환 A 을 이용하여 (그림 1)과 같은 임의의 직사각형에서 사변형으로의 변환, M 을 구하기 위하여 먼저 $(x_0, y_0), (x_1, y_1), (x_2, y_2), (x_3, y_3)$ 점에 의해 이루는 임의의 직사각형을 원점을 기준으로 하는 단위 정사각형으로 변환하기 위해 식 (10)과 같이 이동과 신축을 수행한다.

$$\begin{aligned} [u', v', w'] &= [x, y, 1] M \\ &= [x, y, 1] T(-x_0, -y_0) S\left(\frac{1}{x_1-x_0}, \frac{1}{y_2-y_0}\right) A \quad (10) \\ x' &= u'/w', \quad y' = v'/w' \end{aligned}$$

즉, $(x_0, y_0), (x_1, y_1), (x_2, y_2), (x_3, y_3)$ 에서 $(x_0', y_0'), (x_1', y_1'), (x_2', y_2'), (x_3', y_3')$ 로 평면 투영 변환은, 식 (6)의 변환을 적용하기 전에 먼저 (x_0, y_0) 를 원점으로 이동시키기 위하여 $T(-x_0, -y_0)$ 만큼 이동하고, 단위 정사각형을 만들기 위하여 $S\left(\frac{1}{x_1-x_0}, \frac{1}{y_2-y_0}\right)$ 만큼 신축시킨다. 이와 같이 이동 신축시킨 후에 위에서 식 (6)에 의해 단위 정사각형에서의 평면 투영 변환을 적용한다.

또한 임의의 사변형 $(x_0', y_0'), (x_1', y_1'), (x_2', y_2'), (x_3', y_3')$ 에서 단위 정사각형으로의 역 투영 변환 A^{-1} 은 식 (11)과 같이 $a_i, i = 0, \dots, 7$ 를 이용하여 계산한다.

$$\begin{aligned} [u, v, w] &= [x', y', 1] A^{-1} \\ [u, v, w] &= [x', y', 1] \begin{bmatrix} b_0 & b_3 & b_6 \\ b_1 & b_4 & b_7 \\ b_2 & b_5 & b_8 \end{bmatrix} \quad (11) \\ x &= u/w, \quad y = v/w \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{여기서, } b_0 &= a_4 - a_7 a_5 & b_1 &= a_7 a_2 - a_1 & b_2 &= a_1 a_5 - a_4 a_2 \\ b_3 &= a_6 a_5 - a_3 & b_4 &= a_0 - a_6 a_2 & b_5 &= a_3 a_2 - a_0 a_5 \\ b_6 &= a_3 a_7 - a_6 a_4 & b_7 &= a_6 a_1 - a_0 a_7 & b_8 &= a_0 a_4 - a_3 a_1 \end{aligned}$$

$b_i, i = 0, \dots, 8$ 는 단위 정사각형으로의 역 투영 변환 계수이다. 그러므로 $(x_0, y_0), (x_1, y_1), (x_2, y_2), (x_3, y_3)$ 에 의해 정의되는 직사각형으로의 역 투영 변환은 식 (12)과 같이 식 (11)을 적용한 후에, $S(x_1-x_0, y_2-y_0)$ 만큼 신축시키고, $T(x_0, y_0)$ 만큼 이동시켜 얻는다.

$$\begin{aligned} [u, v, w] &= [x', y', 1] M^{-1} \\ &= [x', y', 1] A^{-1} S(x_1-x_0, y_2-y_0) T(x_0, y_0) \quad (12) \\ x &= u/w, \quad y = v/w \end{aligned}$$

3.2 평가 함수

카메라를 수평 방향으로 회전시켜 얻은 수직으로 중첩되는 두 영상에서의 중첩되는 영역에서 밝기 값은 높은 상관 관계를 갖는다. 본 논문에서는 투영변환 M 에 의해 중첩되는 두 영상의 영역에서 정규상관계수(normalized correlation coefficients) 값이 가장 큰 투영변환 M 을 구한다.

$$r(M) = \frac{E[I(x, y)I'(x', y')] - E[I(x, y)]E[I'(x', y')]}{\sigma_{I(x, y)} \sigma_{I'(x', y')}} \quad (13)$$

$r(M)$ 은 기준 영상 $I(x, y)$ 과 투영변환 M 에 의한 변환 영상 $I'(x', y')$ 사이의 중첩되는 부분에서의 정규 상관 계수이다. 두 영상간의 평면 투영 변환을 구하기 위해서는 식 (13)의 정규 상관계수를 최대화 하는 변환 계수 $m_i, i = 0, \dots, 7$ 를 구하면 된다. 일반적으로 모자의 영상 생성을 위한 투영 변환에서 영상이 어느 방향으로 중첩되는지를 알 수 있으므로 기준 영상 $I(x, y)$ 에서 4점을 직사각형으로 고정하면, 변환 영상 $I'(x', y')$ 에서 식 (13)의 상관계수를 최대화 하는 4점 $(x_0', y_0'), (x_1', y_1'), (x_2', y_2'), (x_3', y_3')$ 을 구하는 것과 동일하다.

3.3 블록 정합에 의한 전역 이동

중첩되는 두 영상간의 평면 투영 변환의 초기해로 상관계수에 의한 블록 정합(block matching) 방법을 사용하여 대략적인 전역 이동을 구할 수 있다. 본 논문에서는 대부분의 영상 모자의 생성에서처럼 기준 영상의 오른쪽이 탐색 영상의 왼쪽에 겹친다는 가정을 하고, 기준 영상의 오른쪽 25% 영역에서 $k \times k$ 격자를 일정 간격으로 설정한 후에, 이 격자 점 각각에 대해 탐색 영상의 왼쪽 60%영역을 탐색하여 블록 상관계수가 가장 큰 지점을 대응점으로 구하였다. 실험에서는 $k=3$ 로 하였다. 블록 정합에서 제한된 블록(예, $7 \times 7, 11 \times 11$)을 사용하여 개별적으로 탐색한 대응점들은 대부분의 경우 만족할만하지만, 일부 유사 색상을 갖는 지점에서는 잘못된 대응점을 찾을 수 있다. 기준 영상의 $k \times k$ 격자의 위치 관계와 블록 정합에 의해 찾은 탐색 영상의 대응점들의 관계를 이용하여 잘못 찾은 대응점을 제거할 수 있다. 본 논문에서는 블록 정합에 의해 찾은 $k \times k$ 격자에 대한 대응점들이 각각 올바른 지점이라 가정하고, 탐색 영상의 각 대응점을 중심으로 기준 영상에서와 같이 $k \times k$ 격자의 위치구조를 이용하여, 나머지 k^2-1 지점을 생성한 후에 이점들에서의 블록 상관계수의 합을 구하여, 이 블록 상관계수의 합이 k^2 쌍의 대응점 중에서 가장 높은 값을 갖는 지점을 선택하여 개별적으로 생성한 대응점을 연관성을 유지하게 할 수 있으며, 이 대응점들을 이용하면 효율적으로 기준 영상과 탐색 영상사이의 전역 이동(translation) 변환을 구하였다. 또한 개별적으로 탐색한 대응점 각각에 대

한 이동 변환에 의해 겹쳐지는 부분에서의 상관 계수가 가장 큰 대응점을 이용하여 이동 변환을 구할 수 있다. 효율적으로 정합지점을 탐색하기 위하여 가우시안 피라미드를 이용하였다.

3.4 SA를 이용한 계층적 투영 변환

두 영상간에 정합 지점을 효율적으로 탐색하기 위하여 가우시안 피라미드(Gaussian pyramid)에 의한 계층 구조를 사용하였다. 식 (14)에 의해 $l-1$ 계층에서 l 계층 영상을 얻었다. 본 논문에서는 4단계의 피라미드 계층을 구성하였다. 계층 $l=0$ 은 원래의 영상이고, 계층 $l=1$ 은 원 영상이 가로 1/2 세로 1/2로 축소된 영상이다.

$$g(x, y) = \exp\left(-\frac{x^2 + y^2}{2\sigma^2}\right) \quad (14)$$

가우시안 피라미드 최상위 계층 $l=3$ 에서 3.3절의 방법에 의한 블록 정합을 이용하여 기준 영상 과 탐색 영상사이의 전역 이동에 대한 대응점을 구한다. 이 대응점들을 초기해로 식 (13)을 최대로 하는 투영 변환, M 을 구한다. 본 논문에서는 두 영상간의 상관계수가 최대가 투영 변환 M 을 구하기 위하여, 8개의 투영 변환 계수를 구하는 대신에 기준 영상에서 4점을 고정하고, 탐색 영상에서 식 (13)의 정규상관계수 $r(M)$ 을 최대로 하는 4점 $(x_0', y_0'), (x_1', y_1'), (x_2', y_2'), (x_3', y_3')$ 을 구하는 방법을 사용하였다. 정규 상관 계수를 최대로 하는 4점을 구하면 식 (6), 식 (7), 식 (8), 식 (9), 식 (10)에 의해 투영 변환을 구할 수 있다. 또한 식 (11), 식 (12)에 의해 역 투영 변환을 구할 수 있다.

기준 영상의 직사각형을 정의하는 고정된 4점 $(x_0, y_0), (x_1, y_1), (x_2, y_2), (x_3, y_3)$ 에 대한 탐색 영상에서의 4개의 대응점의 초기 해는 블록 정합에 의한 전역이동으로 구한다. 이 초기해를 이용하여 SA(simulated annealing)를 사용하여 초기 해 근처에서 식 (13)을 최대로 하는 탐색 영상의 4점 $(x_0', y_0'), (x_1', y_1'), (x_2', y_2'), (x_3', y_3')$ 을 구하였다. 정리하면 다음과 같다.

- ① 블록정합으로 기준영상의 고정된 4점, $(x_0, y_0), (x_1, y_1), (x_2, y_2), (x_3, y_3)$ 에 대한 탐색 영상의 전역 이동된 대응점 $(x_0', y_0'), (x_1', y_1'), (x_2', y_2'), (x_3', y_3')$ 을 구한다. 이 대응점을 식 (6), 식 (7), 식 (8), 식 (9), 식(10)를 이용하여 투영 변환 M 을 구하고, 이 변환에 의해 기준 영상과 탐색 영상 사이의 겹쳐지는 영역에서 식 (13)에 의해 정규상관계수, oldR를 구한다.
- ② 탐색 영상의 4점 $(x_0', y_0'), (x_1', y_1'), (x_2', y_2'), (x_3', y_3')$ 을 근처에서 랜덤하게 퍼터브시킨 다음, 다시 식 (6), 식 (7), 식 (8), 식 (9), 식 (10)을 이용하여 투영 변환

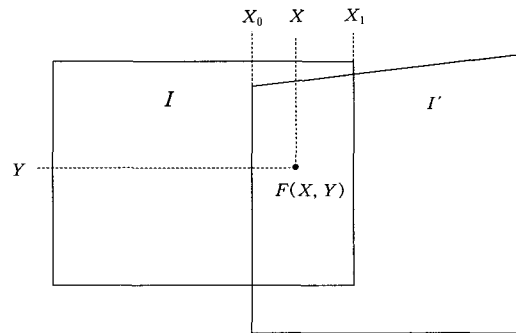
M 을 구하고, 두 영상 사이의 중첩되는 영역에서의 정규상관계수 newR를 구한다.

- ③ newR > oldR이면 퍼터브시킨 4점을 새로운 해로 채택한다. 그렇지 않을 경우 확률적 ($p = \exp(-(oldR - newR)/T)$)으로 채택한다. newR과 oldR 사이의 값의 차가 임계치 보다 작을 때 종료한다.

가우시안 피라미드 최상위 계층 ($l=3$)에서 위의 방법을 이용하여 해를 구한 다음, 대응점의 각 좌표에 2를 곱하여 하위 계층 ($l=2$)의 초기해로 사용하는 방법으로 원 영상 ($l=0$)에서 정규 상관계수를 최대로 하는 대응점을 구한다. 전역 이동과 피라미드 구조를 사용하여 전역해(global solution) 근처에서 해를 구하기 때문에 각 계층에서 탐색 공간을 좁게 하여 빨리 수렴하게 할 수 있다.

3.5 중첩되는 부분에서의 영상 혼합

투영 변환 M 에 의해 중첩되는 두 영상의 영역에서 각 화소마다 밝기 값이 존재한다. 빛의 방향, 그림자, 카메라의 위치에 의해 에 따른 시차(parallax)등으로 인하여 투영변환에 의해 중첩되는 두 영역에서 서로 다른 밝기 값을 가질 수 있다. 이러한 서로 다른 밝기 값을 혼합(blending)하는 방법으로 각 영상의 중심으로부터의 거리에 따른 이중 선형 보간[4]을 사용할 수 있다. 본 논문에서는 중첩되는 두 영상에서 식 (15)에 의한 선형 가중치에 의해 두 영상을 혼합하였다.



(그림 3) 선형 가중치에 의한 영상 혼합

$F(X, Y)$ 는 기준 영상 $I(x, y)$ 와 투영 변환된 영상 $I'(x', y')$ 의 합성 영상이다. $X < X_0$ 에서 $F(X, Y)$ 는 $I(x, y)$ 이며, $X > X_1$ 에서 $F(X, Y)$ 는 $I'(x', y')$ 이다. $X_0 \leq X \leq X_1$ 에서 $F(X, Y)$ 는 아래 식 (15)에 의해 두 밝기 값을 선형 가중치에 의해 구하였다.

$$F(X, Y) = I(x, y) * (1 - r) + I'(x', y') * r \quad (15)$$

$$r = \frac{(X - X_0)}{X_1 - X_0}$$

4. 구현 및 결과

카메라를 회전시켜 얻은 수직으로 중첩되는 영상에서 (1) 전역 이동, (2)LM 방법에 의한 투영 변환, (3)정규상관계수 값을 최대로 하는 대응점을 SA 알고리즘과 대응점에 의한 직사각형에서 사변형으로의 투영변환에 영상변환을 구하여 합성하는 실험을 하였다.

RGB 컬러 영상에 적용하기 위하여 식 (14)을 R, G, B 각각에 적용하여 4단계의 칼라 영상 피라미드를 구성하였으며, 전역 이동을 구하기 위한 블록 정합과 계층적으로 투영변환을 구할 때 평가함수 식 (13)의 정규상관 계수를 R, G, B 각각에 대하여 계산한 다음 합계를 사용하였다.

LM 방법에 의한 투영 변환은 영상의 그래디언트와 오차를 컬러 값을 밝기 값으로 변환하여 구현하였다. 영상 그래디언트는 Sobel 연산자와 이중 선형 보간을 사용하여 계산하였다. 투영변환에 의해 중첩되는 부분에서의 R, G, B 값은 식 (15)에 의한 선형 가중치에 의해 두 영상의 값을 효과적으로 혼합하였다.

(그림 4)는 카메라를 회전시켜 얻은 영상으로 (그림 4)(a)의 오른쪽이 (그림 4)(b)의 왼쪽에 중첩되며, (그림 4)(b)의 오른쪽이 (그림 4)(c)의 왼쪽에 중첩된다. (그림 4)(a)의 오른쪽에 주어진 3×3 격자를 기준으로 제안된 블록 정합 방법을 이용하여 구한 대응점이 (그림 4)(b)의 왼쪽에 나타나 있다. 또한 (그림 4)(b)의 오른쪽에 주어진 격자에 대한 대응점이 (그림 4)(c)의 왼쪽에 나타나 있다. 이들 대응점을 이용하여 평면 투영 변환의 초기해인 전역 이동을 계산한다. (그림 8)에서도 동일하게 전역 이동에 대응하는 대응점을 구한 결과이다. (그림 5)와 (그림 9)는 전역 이동을 이용하여 영상을 변환하고 식 (15)에 의해 합성한 결과이다. (그림 6)과 (그림 10)은 전역 이동을 초기해로 하여 LM 방법에 의한 중첩되는 부분에서의 오차를 최소화하는 투영 변환 정합을 구하여 합성한 결과이다. (그림 7)과 (그림 11)은 전역 이동을 초기해로 하여 중첩되는 부분에서 정규상관계수 값을 최대로 하는 대응점을 SA 알고리즘에 의해 구하고 대응점에 의한 직사각형에서 사변형으로의 사상에 의한 투영변환을 구하는 제안하는 방법을 이용하여 합성한 결과이다. <표 1>과 <표 2>는 각각 (그림 5), (그림 6), (그림 7)과 (그림 9), (그림 10), (그림 11)에서 성능을 평가하기 위하여 중첩되는 부분에서의 평균 제곱오차(mean squared error)와 RGB 상관계수의 합을 사용하였다. 평균 제곱 오차는 변환에 의해 중첩되는 영역에서의 화소의 밝기 값 사이의 오차의 제곱을 중첩되는 영역의 화소수로 나눈 것이다. 평균 제곱 오차는 작을수록 중첩되는 부분의 유사성이 높으며, RGB 컬러 정규상관계수의 합은 3에 가까운 높은 값을 가질수록 유사성이 높다. 본 논문에서 제안된 방법이 두 실험에서 효과적임을 알 수 있다.

<표 1> 변환에 의해 중첩되는 부분에서의 평균 제곱 오차

비 교	제안된 전역 이동 (그림 5)		LM 방법에 의한 평면투영변환 (그림 6)		제안된 평면투영변환 (그림 7)	
	left/center	center/right	left/center	center/right	left/center	left/center
평균제곱오차	1635.9	1379.8	1379.8	961.3	526.1	598.2
RGB 정규상관계수	2.6	2.5	2.6	2.6	2.9	2.9



(a) left



(b) center



(c) right

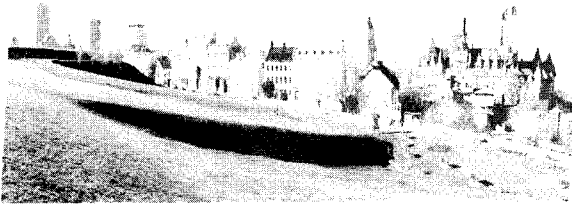
(그림 4) 제안된 블록 정합 방법에 의한 대응점 결과



(그림 5) 전역 이동을 사용하여 합성한 결과

〈표 2〉 변환에 의해 증첩되는 부분에서의 평균 제공 오차

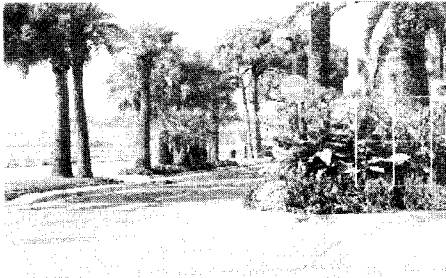
변환 오차	제안된 전역 이동 (그림 9)		LM 방법에 의한 평면투영변환 (그림 10)		제안된 평면 투영 변환 (그림 11)	
	left/ center	center/ right	left/ center	center/ right	left/ center	left/ center
평균제공오차	2247.7	2933.5	1840.5	2968.9	1615.1	2683.8
RGB 상관계수	2.1	2.1	2.1	2.0	2.5	2.4



(그림 6) LM 방법에 의한 투영변환으로 합성한 결과



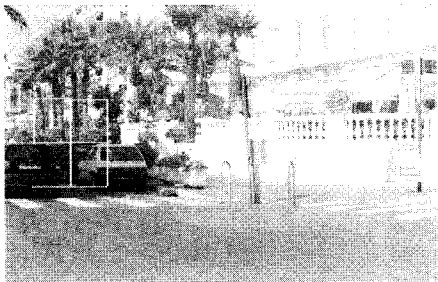
(그림 7) 제안된 투영 변환으로 합성한 결과



(a) left



(b) center

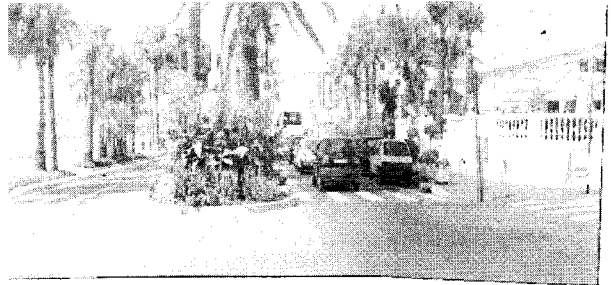


(c) right

(그림 8) 제안된 블록 정합 방법에 의한 대응점 결과



(그림 9) 전역 이동을 사용하여 합성한 결과



(그림 10) LM 방법에 의한 투영변환으로 합성한 결과



(그림 11) 제안된 투영 변환으로 합성한 결과

5. 결 론

본 논문에서는 가우시안 피라미드에서 정규상관에 의한 블록 정합을 이용하여 초기 전역 이동을 효과적으로 계산하였다. 기존 영상에서의 직사각형이 되도록 4점을 고정시키고 증첩되는 탐색영상에서 이들에 대한 대응점을 초기 전역 이동으로 구한 대응점 근처에서 SA알고리즘을 사용하여 증첩되는 영역에서의 상관계수가 가장 큰 대응점을 구하여, 직사각형에서 사변형으로의 투영변환을 이용하여 대수적으로 투영변환을 구하였다. 투영 변환에 의해 증첩되

는 영역에서 컬러 값을 선형 가중치에 의해 혼합하여 합성 영상을 효율적으로 생성하였다. 향후 연구로는 합성된 모자이크 영상을 현실감 있는 파노라믹 영상을 생성하기 위하여 실린더 또는 구에 사상하는 방법과 비디오 영상에 대한 합성 연구가 요구된다.

참 고 문 헌

[1] Richard Szeliski, Heung-Yeung Shum, "Creating Full View Panoramic Image Mosaics and Environment Maps," SIG-RAPH 97, pp.251-258.

[2] L. McMillan and G. Bishop, "Plenoptic Modeling : An Image based Rendering System," SIGGRAPH95.

[3] Richard Szeliski, "Video mosaics for virtual Environments," IEEE Computer Graphics and Application, 1996, pp.22-30.

[4] Richard Szeliski, "Image Mosaicing for Tele-Reality Applications," Cambridge Research Lab, Technical Report, May, 1994.

[5] Richard Szeliski, "Spline-Based Image Registration," Cambridge Research Lab, Technical Report, April, 1994.

[6] Harpreet S. Sawhney et al, "True Multi-Image Alignment and Its Application to Mosaicing and Lens Distortion Correction," IEEE PAMI, Vol.21, No.3, 1999.

[7] Shigang Li, "Localization along routes Based upon Panoramic View and GPS in Large-scaled Outdoor Environment," ACCV 2000, Vol.1, pp.11-16.

[8] Harpreet S. Sawhney et al, "Robust Video Mosaicing through Topology Inference and Local to Global Alignment," Technical Paper in Sarnoff

[9] Philippe Thevenaz, Urs E. Ruttimann, and Michael Unser, "A Pyramid Approach to Subpixel Registration Based on Intensity," IEEE Trans. on Image Processing, Vol.7, No.1, Jan. 1998, pp.27-41.

[10] W. H. Press et al. Numerical Recipes in C : The Art of Scientific Computing, 2nd Edition, Cambridge Univ Press, 1992.

[11] George Wolberg, Digital image warping, IEEE Computer

Society Press, 1990.

[12] Randy Crane, Simplified approach to image processing



김 동 근

e-mail : dgkim@tiger.seonam.ac.kr

1989년 충남대학교 계산통계학과 졸업 (이학사)

1991년 충남대학교 계산통계학과 졸업 (이학석사)

1996년 충남 대학교 전산학과 졸업 (이학박사)

1996년~1999년 서남대학교 전임강사

2000년~현재 서남대학교 조교수

관심분야 : 컴퓨터 그래픽스, 컴퓨터 비전, 영상처리, 멀티미디어 응용



장 병 태

e-mail : jbt@etri.re.kr

1989년 서울대학교 대기과학과(이학사)

1994년 충남대학교 컴퓨터과학과 (이학석사)

1997년~1999년 충남대학교 컴퓨터과학과 (박사수료)

1989년~1995년 한국과학기술연구원(KIST) 부설 시스템공학연구소 기초 및 응용 소프트웨어 연구부 RS/GIS실 연구원

1995년~1996년 한국과학기술연구원(KIST) 시스템공학연구소 지구환경정보 연구부 선임연구원

1996년~1998년 한국전자통신연구원 부설 시스템공학연구소 감성공학연구부 가상현실연구실 선임연구원

1998년~1998년 한국전자통신연구원 컴퓨터·소프트웨어연구소 휴먼컴퓨팅연구부 가상공간 연구팀 선임연구원

1998년~2000년 한국전자통신연구원 컴퓨터·소프트웨어연구소 가상현실(VR)연구센터 촉각정보연구팀 팀장

2000년~현재 한국전자통신연구원 컴퓨터·소프트웨어연구소 가상현실(VR)연구센터 증강현실연구팀 팀장

관심분야 : 가상현실, 증강현실, 컴퓨터비전, 영상처리, 컴퓨터 게임