

論文2002-39SP-1-5

SSOR을 이용한 강인한 F-행렬의 추정

(The Robust Estimation of Fundamental Matrix Using the SSOR)

金孝成*, 南基坤*, 田桂錄**, 李尙昱***, 鄭斗泳****

(Hyo-Sung Kim, Ki-Gon Nam, Kyeu-Rok Jeun, Sang-Wook Lee, and Du-Yeong Jung)

요약

시점을 달리하는 영상으로부터 3차원 장면 복구는 두 영상의 에피폴라 기하구조를 나타내는 F-행렬을 계산함으로써 가능하다. F-행렬을 계산하기 위해 입력으로 주어지는 두 영상의 일치점에는 잘못된 정합점과 같은 잡음을 포함하고 있기 때문에 정확한 F-행렬의 계산은 많은 오류를 가지게 된다. 따라서 본 논문에서는 에피폴라 기하구조에 영향을 미치는 잡음의 종류를 크게 outlier와 미세잡음으로 구분하였다. 상대적으로 에피폴라 기하구조에 영향을 크게 미치는 outlier를 단계적으로 제거시킴으로써 잡음 환경에서도 효과적으로 F-행렬을 계산할 수 있는 SSOR 알고리즘을 제안한다. 제안 알고리즘의 성능 평가를 위해 합성영상과 실 영상에서 실험하였으며 실험결과 제안 알고리즘이 기존의 알고리즘보다 성능이 우수함을 확인하였다.

Abstract

Three-Dimensional scene reconstruction from images acquired with different viewpoints is possible as estimating Fundamental matrix(F-matrix) that indicates the epipolar geometry of two images. Correspondence points required to calculate F-matrix of two images include noise such as miss matches, so generally it is hard to calculate F-matrix accurately. In this paper, we classify noise into two types; outlier and minute noise. we propose SSOR algorithm that estimate F-matrix effectively. SSOR algorithm is rejecting outlier step by step in a noise environment. To evaluate the performance of proposed algorithm we simulated with synthetic images and real images. As a result of simulation we show that proposed algorithm is better than conventional algorithms.

* 正會員, 釜山大學校 電子工學科

(Dept. of Electronics Engr., Pusan National Univ.)

** 正會員, 釜山大學校 醫工學科

(Dept. of Biomedical Engr., Pusan National Univ.)

*** 正會員, 慶尙大學校 情報通信工學科

(Department of Information & Communication Engr., GyeongSang National Univ.)

**** 正會員, 巨濟大學 電子科

(Dept. of Electronics Engr., KoJe College)

接受日字:2001年5月6日, 수정완료일:2001年10月18日

I. 서론

영상들로부터 장면(scene)의 3차원 복구는 컴퓨터 비전 분야에서 지속적으로 연구되고 있는 중요한 연구대상이다. 최근 컴퓨터의 급속한 발달로 개인용 컴퓨터에서도 복잡한 3차원 모델의 디스플레이가 가능하게 되었으며 인터넷 상에서 3차원 모델과 가상 환경의 사용은 더욱 일반화되고 있다. 간단한 3차원 모델을 생성하는 일은 쉬운 일이나 복잡한 장면을 모델링하기에는 많은 시간과 노력이 요구되어진다. 따라서 카메라에 의해 획득된 영상들로부터 3차원 장면 복구에 관한 많은

연구가 있어왔다¹⁻³⁾.

시점을 달리하는 영상으로부터 3차원 정보를 추출해 내는 방법에는 크게 카메라 캘리브레이션에 의한 방법과 캘리브레이션이 없는 방법으로 나눌 수 있다. 전자는 영상의 픽셀 좌표계와 실세계의 3차원 좌표계와의 관계를 규정짓는 3×4 투영행렬을 계산함으로써 이루어지지만 반드시 캘리브레이션된 영상에서만 적용가능하기 때문에 적용분야가 매우 제한적이다. 후자는 캘리브레이션 없이 적용 가능한 방법으로 영상들의 일치점으로부터 F-행렬의 계산에 의해 구해지며 현재 주요 연구대상이 되고 있다. 따라서 3차원 복구는 얼마나 정확하게 F-행렬을 추정하는가에 따라 정확도가 좌우된다.

F-행렬의 추정에 대한 발전과정을 단계적으로 살펴보면 초기에는 해의 존재성 여부를 증명하기 위한 단계에 있었다⁴⁾. 다음 단계에서 최소개의 일치점으로부터 유일해를 구하는 문제가 다루어졌다^{5,6)}. 최소개의 일치점은 잡음에 민감하여 잘못된 기하구조를 추정할 가능성이 높기 때문에 그 다음단계에서 잡음에 강한 알고리즘 개발에 초점이 맞추어졌다. 최근에는 잡음의 영향을 최대한 줄이기 위해 최소개의 일치점 이상을 사용하여 강인(robust)한 F-행렬 추정 알고리즘 개발에 주력하고 있다. RANSAC(random sampling consensus)⁷⁾을 이용한 F-행렬계산 알고리즘은 입력 일치점들 중 해를 계산하기 위한 최소개의 일치점을 랜덤하게 선택해서 F-행렬을 계산하게 된다. 그러나 최소개의 일치점으로부터 F-행렬의 계산은 작은 잡음에도 매우 민감하게 반응하기 때문에 잘못된 기하구조를 만들 수가 있다. 따라서 본 논문에서는 기하구조에 영향을 미치는 잡음의 종류를 크게 outlier와 미세잡음으로 구분하여 단계적으로 outlier를 하나씩 제거시켜 나감으로써 최대한 이용할 수 있는 일치점들을 모두 사용하여 잡음의 영향을 최대한 줄일 수 있는 알고리즘을 제안한다.

본 논문의 구성은 서론에 이어 II장에서는 에피폴라 기하학을 서술하고, III장에서는 F-행렬의 추정에 대한 기존 알고리즘을 요약하였으며, IV장에서는 제안 SSOR(step by step outlier rejection) 알고리즘을 서술하였다. V장에서는 제안 알고리즘의 성능분석 및 실험 결과를 마지막 VI장에서 결론을 맺는다.

II. 에피폴라 기하학

그림 1은 두 대의 핀홀 카메라에 의해 구성된 스테

레오 영상의 기하학적 구조를 보여준다. c_1 과 c_2 는 각각 카메라의 광중심이다. 3차원 공간상의 한 점 X 는 두 영상평면에 각각 x 과 x' 로 투영되어 한쌍을 이룬다. 이것을 수식으로 표현하면 다음과 같다.

$$\tilde{x} = \tilde{P}_1 \tilde{X} = \begin{pmatrix} x \\ y \\ 1 \end{pmatrix}, \quad \tilde{x}' = \tilde{P}_2 \tilde{X} = \begin{pmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{pmatrix} \quad (1)$$

여기서 \tilde{P}_1, \tilde{P}_2 는 각각 좌 영상과 우 영상의 원근투영행렬이다.

왼쪽 영상평면에서 x 가 주어지면 오른쪽 영상에서의 일치점은 에피폴라 라인이라는 선분 위에 놓이게 된다. 이를 에피폴라 제약조건이라고 하며 x 의 광방사선을 c_2 를 통해 오른쪽 영상 평면으로 투영한 것이다.

한 영상평면에서의 모든 에피폴라 라인은 에피폴(epipole)이라고 하는 공통점을 지난다. 에피폴은 다른 영상의 광중심을 투영시킨 점으로 다음과 같이 표현된다.

$$\tilde{e}' = \tilde{P}_2 \begin{pmatrix} c_1 \\ 1 \end{pmatrix}, \quad \tilde{e} = \tilde{P}_1 \begin{pmatrix} c_2 \\ 1 \end{pmatrix} \quad (2)$$

왼쪽영상평면에서 x 을 기준으로 오른쪽 영상평면에서의 에피폴라 라인 l 는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$l = \tilde{e}' \times \tilde{x} = \tilde{e}' \times \tilde{P}_2 \tilde{X} \\ = \tilde{e}' \times \tilde{P}_2 \tilde{P}_1^{-1} \tilde{x} = F \tilde{x} \quad (3)$$

여기서 F 는 3×3 F-행렬(fundamental matrix)이다.

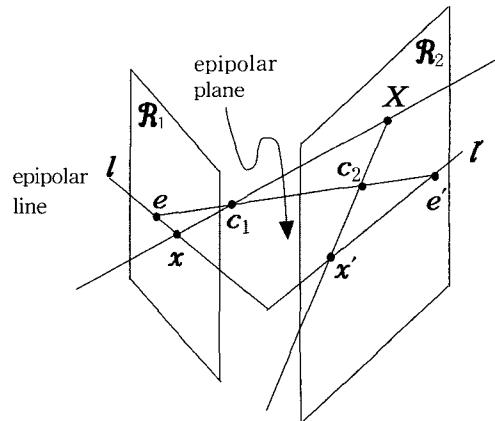


그림 1. 에피폴라 기하구조
Fig. 1. Epipolar geometry.

에피폴라 제약조건에 의해 x' 는 x 의 에피폴라 라인 l 위에 존재하므로 다음 식이 만족하게 된다.

$$\begin{aligned} \tilde{x}'^T l &= 0 \\ \tilde{x}'^T F \tilde{x} &= 0 \end{aligned} \quad (4)$$

식 (4)와 같이 F-행렬은 영상 좌표계로 표현되는 일치점의 관계를 나타내며 에피폴라 기하구조의 대수적 표현이다. 또한 좌, 우 영상의 일치점들을 알 수 있다면 F-행렬을 구할 수 있다.

III. F-행렬의 추정

1. 8점 알고리즘

식 (4)로부터 하나의 일치점에 대해 다음과 같은 선형방정식이 세워진다.

$$x'x'f_{11} + x'y'f_{12} + x'f_{13} + y'x'f_{21} + y'y'f_{22} + y'f_{23} + xf_{31} + yf_{32} + f_{33} = 0$$

여기서 f_{ij} 는 F-행렬의 i 행 j 열 요소이다.

위 식에서 미지수가 9개이지만 스케일에 무관하기 때문 8개의 일치점으로부터 주어진 방정식의 해를 구할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} x'_1x'_1 & x'_1y'_1 & x'_1 & y'_1x'_1 & y'_1y'_1 & y'_1 & x'_1 & y'_1 & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x'_nx'_n & x'_ny'_n & x'_n & y'_nx'_n & y'_ny'_n & y'_n & x'_n & y'_n & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} f_{11} \\ f_{12} \\ f_{13} \\ f_{21} \\ f_{22} \\ f_{23} \\ f_{31} \\ f_{32} \\ f_{33} \end{bmatrix} = 0,$$

where $n \geq 8$

$Af=0$ 의 형태로 해는 A의 영공간에 있으며 SVD(singular value decomposition)에 의해 구해질 수 있다. 이 방법은 가장 간단한 F-행렬 추정 방법으로 잡음에 대한 고려가 전혀 되어있지 않다.

2. 정규화된 8점 알고리즘

8점 알고리즘은 A의 조건수(condition number)가 크기 때문 데이터의 작은 변화에 대해서도 해의 큰 변화를 야기한다. 따라서 일치점을 정규화 함으로써 조건수를 낮추는 방법을 Hartley^[5]가 제안하였다. 이 방법은 8점 알고리즘을 개선하였으나 부정합(miss matches)과 같은 문제점은 해결할 수가 없다.

알고리즘에 대한 단계는 다음과 같다.

단계 1. 일치점들을 정규화한다.

$$\begin{aligned} \hat{x}_i &= Tx_i \\ \hat{x}'_i &= T x'_i \end{aligned}$$

단계 2. 정규화된 일치점들로부터 F행렬을 계산한다.

$$\hat{x}'_i{}^T \hat{F} \hat{x}_i = 0$$

단계 3. 랭크 2제약조건을 적용한다. \hat{F}

단계 4. 정규화되기 전 좌표계로 최종 변환한다.

$$F = T^T \hat{F} T$$

3. RANSAC 알고리즘

입력으로 주어지는 일치점에는 부정합점이 존재할 수 있다. 따라서 입력으로 주어지는 일치점 중 해를 구하기 위한 최소개의 일치점을 랜덤하게 선택하여 F-행렬을 구한다. 랜덤선택 과정을 반복함으로써 잡음을 포함하지 않는 최소한의 데이터를 가지고 F-행렬을 계산하게 된다. 그러나 이 방법은 최소개의 일치점으로 해를 구하기 때문 선택된 일치점의 작은 잡음에도 구해진 해가 정확한 해 공간에서 멀어질 수 있다. 알고리즘에 대한 단계는 다음과 같다.

단계 1. 입력일치점들 중 F-행렬을 계산하기 위한 최소개의 일치점을 랜덤하게 선택한다.

단계 2. 각 일치점에 대한 에피폴라 거리를 계산한다.

단계 3. 각 일치점에 대한 에피폴라 거리가 문턱치 미만인 일치점(inlier)의 수를 카운터한다.

단계 4. 단계 1부터 3까지 N번 반복 수행한다.

단계 5. N번 시행 중 inlier의 개수가 가장 많은 F-행렬을 선택한다.

단계 6. 단계 5에서 선택된 모든 inlier를 데이터로 해서 최종 F-행렬을 재계산한다.

IV. 제안한 SSOR 알고리즘

일반적으로 F-행렬의 계산에 필요한 일치점들은 좌, 우 영상에 대한 특징점 매칭(feature matching) 알고리즘을 적용시킴으로써 구해질 수 있다. 이렇게 구해진 일치점에는 잡음환경에 노출되어 있다. 발생 빈도

가 높은 잡음들은 다음과 같이 분류될 수 있다.

- ① 실제 일치점이 아닌데도 불구하고 주위 화소값이 비슷하여 일치점으로 잘못 추정된 경우
- ② 폐색영역의 외곽선에서 일치점이 구해진 경우, 실제는 일치점이 가려져 영상에는 존재하지 않으나 일치점으로 잘못 간주된 경우이다.
- ③ 조명이나 외부 빛에 의해 발생한 물체의 그림자에서 매칭된 경우
- ④ 카메라는 고정되어 있으나 물체가 독립적으로 움직인 경우의 일치점
- ⑤ 카메라의 CCD에서 실제 장면을 획득할 때 발생하는 양자화 오차

위 잡음들 중 ①~④까지의 잡음은 에피폴라 기하구조를 추정하는 데 아주 심각한 문제로 작용하게 된다. 따라서 F행렬을 구할 때 제외되어야 하는 outlier이다. ⑤에 의한 어려움은 outlier 보다는 에피폴라 기하구조에 심각한 문제를 주지는 않는다. 이 미세 잡음은 최소화 기법으로 잡음의 영향을 감소시킬 수 있다.

1. Outlier 판별 요건

본 논문에서는 outlier를 효과적으로 줄이는 방법을 제시한다. outlier 판별 요건은 다음과 같다.

그림 2에 나타난 에피폴라 거리는 추정된 F-행렬로 계산되어진 에피폴라 라인과 일치점과의 최단 거리로 정의한다. 좌 영상의 한 점 x 에 대한 우 영상에서의 에피폴라 라인 l 와 일치점 x' 와의 최단 거리는 다음 수식으로 표현할 수 있다.

$$d(x', Fx) = \frac{|x'^T Fx|}{\sqrt{(Fx)_1^2 + (Fx)_2^2}} \quad (5)$$

여기서 $(Fx)_i$ 는 벡터 Fx 의 i 번째 요소를 가리킨다.

동일 방법으로 우 영상의 한점 x' 에 대한 좌 영상에서의 에피폴라 라인 l 과 일치점 x 와의 최단거리 수식은 다음과 같다.

$$d(x, F^T x') = \frac{|x'^T Fx|}{\sqrt{(F^T x')_1^2 + (F^T x')_2^2}} \quad (6)$$

임의의 일치점에 대한 에피폴라 거리는 다음과 같이 식 (5)와 (6)의 합으로 주어진다.

$$d(x_i, x_i') = d(x_i', Fx_i) + d(x_i, F^T x_i') \quad (7)$$

만약 추정된 F-행렬이 정확하다면 $d(x_i, x_i')$ 는 0에 접근하게 되고, $d(x_i, x_i')$ 가 아주 큰 값을 가진다면 outlier일 확률이 높다. 따라서 에피폴라 거리를 outlier 유무를 판단하는 비용함수로 사용될 수 있다. 전체 비용함수는 각 일치점의 비용함수의 합으로 주어지며 다음과 같다.

$$d(S) = \sum_i \{d(x_i', Fx_i) + d(x_i, F^T x_i')\} \quad (8)$$

여기서 S 는 입력 일치점들로 구성된 집합을 나타낸다.

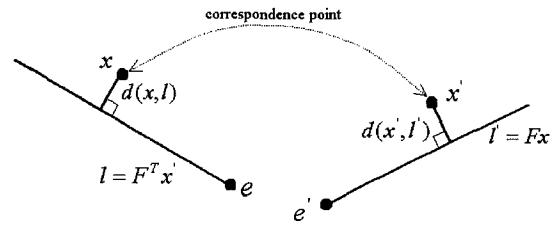


그림 2. 에피폴라 거리
Fig. 2. Epipolar distance.

2. Outlier제거에 따른 전체 비용함수 그래프

입력 일치점들 중 outlier를 하나씩 제거함에 따른 전체 비용함수값의 변화를 그래프로 나타내면 그림 3과 같다. outlier 제거에 따른 전체 비용함수의 변화는 세 구간으로 나누어 생각할 수 있다. 즉 감소기와 안정기, 불안정기로 나뉜다. 감소기에서는 순차적인 outlier의 제거로 인하여 전체비용함수가 서서히 감소됨을 볼 수 있다. 다음 단계는 안정기로 outlier의 완전한 제거로

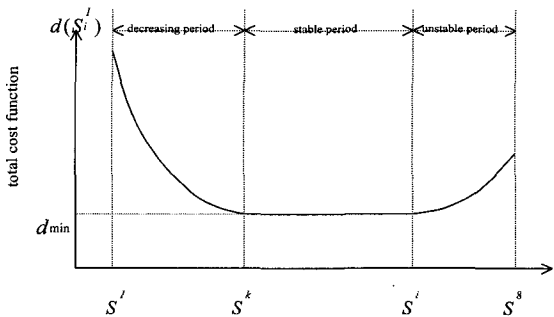


그림 3. outlier 제거에 따른 전체 비용함수의 변화
Fig. 3. Variation of total cost with outlier rejection.

순수 일치점을 가지고 F-행렬이 계산되므로 일정 구간 동안 전체 비용함수가 안정됨을 볼 수 있다. 그러나 outlier의 제거일 뿐 영상 획득 시 발생하는 양자화 오차는 여전히 일치점들이 가지고 있다. 최종단계는 불안정기로 이 단계에서는 데이터의 양이 감소함에 따라 양자화 오차등 미세 잡음의 영향이 증가하여 전체 비용함수값이 다시 올라감을 볼 수 있다.

결과적으로 시차가 틀린 두 영상에서 계산되어질 수 있는 최선의 에피폴라 기하구조는 그래프상의 전체 비용함수가 가장 최소가 되는 곳을 알 수 있다.

3. SSOR 알고리즘

F-행렬 계산의 입력으로 사용되는 일치점의 집합을 S^i 라고 할 때 S^i 에는 미세 잡음만을 포함하는 일치점의 집합 M^i 와 outlier의 집합 O^i 으로 나눌 수 있다.

$$S^i = \{s_1, s_2, \dots, s_i\},$$

$$i = 8, 9, \dots, I$$

$$M^i = \{s_1, s_2, \dots, s_j\}, \quad j \leq I \quad O^i = S^i - M^i,$$

$$i = j + 1$$

여기서 s_i 는 일치점으로 $\{x_i, x_i'\}$ 로 이루어진다. i, j, l 은 각 집합의 원소 개수를 의미한다. 식 (7)의 정의와 같이 $d(s_k)$ 는 집합 S^i 의 k 번째 원소에 대한 에피폴라 거리, 즉 비용함수이다. $d(S^i)$ 는 일치점 집합 S^i 의 전체 비용함수이다. 즉 $d(S^i) = \sum_j d(s_j)$ 이다. 또한 $d(S^i)$ 는 일치점 집합 S^i 을 입력으로 하여 구해진 F-행렬을 가지고 초기 입력집합 S^i 의 전체 비용함수를 의미한다.

SSOR 알고리즘은 다음 과정으로 이루어진다.

단계 1. 입력 일치점 집합 S^i (i 개의 일치점)을 입력으로 하여 F-행렬을 계산한다.

단, 실험에서 F-행렬 계산은 정규화된 8점 알고리즘을 사용하였다.

단계 2. 각 일치점에 대한 개별 비용함수 $d(s_k)$ 와 전체 비용함수 $d(S^i)$ 를 계산하여 버퍼에 저장한다.

단계 3. 개별 비용함수값 중 가장 큰 값을 가지는 일치점을 찾는다.

$$\arg_{s_k} \text{Max}\{d(s_k)\} \quad s_k \in S^i$$

단계 4. 단계 3에서 찾은 일치점을 집합 S^i 에서 제거하여 다음 입력으로 사용될 일치점 집합 S^{i-1} 을 형성한다.

$$S^{i-1} = S^i - \arg_{s_k} \text{Max}\{d(s_k)\} \quad s_k \in S^i \text{ where} \\ i = I, I-1, \dots, 9$$

단계 5. 단계 4에서 형성된 집합을 입력으로 하여 단계 1~4를 계산 반복한다.

단계 6. 버퍼에 저장된 $d(S^i)$ 중 가장 최소값을 가지는 집합 C 를 계산한다.

$$C = \arg_{S^i} \text{Min}\{d(S^i)\}$$

단계 7. 단계 6에서 계산된 집합 C 를 입력으로하여 최종 F-행렬을 계산한다.

V. 성능분석 및 실험결과

Outlier 제거에 따른 전체 비용함수 변화 그래프의 타당성 여부를 증명하기 위해 합성 영상과 실 영상에서 실험하였다. 합성 영상의 생성 환경은 그림 4와 같다.

장면은 반지름이 100mm를 갖는 구 내부에 유니폼한 분포를 가지는 랜덤 포인트들로 구성하였다. 구의 중심과 카메라와의 거리는 1000mm이며 카메라의 내부 파라미터인 초점거리 16mm이다. 일치점의 총 개수는 50이며 20%의 일치점에는 표준편차가 4인 가우시안 잡음을 첨가시켰다. 실험 1의 환경에서는 좌 카메라를 기준 우 카메라 x축으로 20만분의 거리를 두었고 실험 2에서는 x축으로 20mm만큼 이동, z축으로 20도만큼 회전시켰다.

그림 5는 실험1과 2의 환경에서 생성된 합성영상을 나타낸다. 그림 5에서 +는 잡음이 없는 일치점을, ⊖는 잡음이 포함된 일치점 즉 outlier를 나타내며 숫자는 일치점의 인덱스를 나타낸다. 실험 1에서 6, 7, 10, 19, 20, 30, 33, 40, 46, 47번째 일치점과 실험 2에서 1, 3, 13, 15, 16, 20, 33, 37, 43, 46번째 일치점이 outlier이며 제안한 SSOR 알고리즘을 수행함으로써 점차적으로 outlier가 제거됨을 표 1에서 보였다. 표 1에서 숫자는 SSOR 알고리즘 단계 3에서 제거된 outlier의 인덱스를 나타내며 정확히 outlier 10개를 모두 제거시킴을 볼 수

있다.

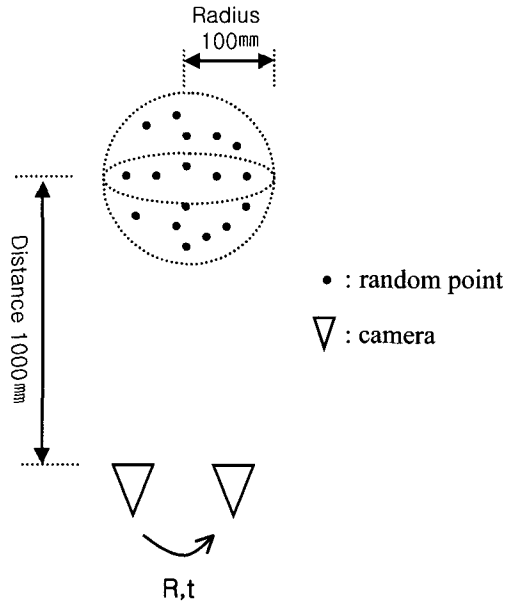


그림 4. 합성 영상 생성 환경
Fig. 4. Generation environment of synthetic image.

그림 6은 실험 1, 2에 대한 outlier 제거에 따른 전체 비용함수의 변화 그래프이다. 각각 10개의 outlier가 제거되는 S^{40} 에서 총 비용함수가 최소가 됨을 볼 수 있

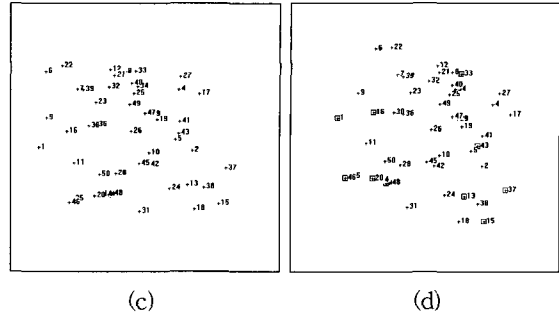
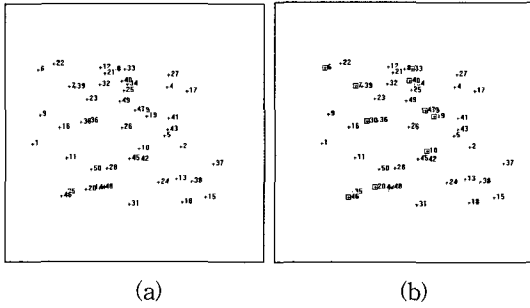


그림 5. 합성영상
(a),(b) 실험 1 영상 (c),(d) 실험 2 영상
Fig. 5. Synthetic images.
(a),(b) test 1 images (c),(d) test 2 images

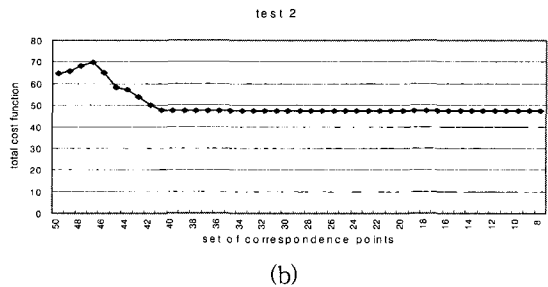
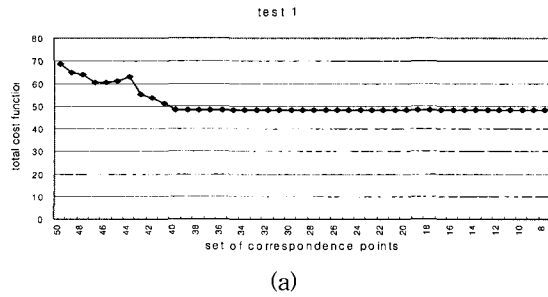


그림 6. 합성 영상에 대한 총 비용함수 변화 그래프
(a) 실험 1 영상 (b) 실험 2 영상
Fig. 6. Variation graph of total cost for synthetic image.
(a) test1 image (b) test2 image

표 1. SSOR에 의한 Outlier 제거 (실험 1, 실험 2)
Table 1. Outlier rejection by SSOR (test 1, test 2)

	일치점 중 outlier에 대한 인덱스	SSOR에 의한 outlier 제거									
		S^{50}	S^{49}	S^{48}	S^{47}	S^{46}	S^{45}	S^{44}	S^{43}	S^{42}	S^{41}
실험 1	6, 7, 10, 19, 20, 30, 33, 40, 46, 47	10	20	46	6	19	47	40	30	7	33
실험 2	1, 3, 13, 15, 16, 20, 33, 37, 43, 46	37	15	16	20	3	46	33	13	1	43

다. 그림 7에서는 실제 영상에 대한 동일 실험을 시행하였다. 실제 영상에서도 총 비용함수의 변화가 그림 3의 그래프와 유사한 형태가 나타남을 알 수 있다.

SSOR 알고리즘의 성능분석을 위하여 8점 알고리즘^[4], 정규화 8점 알고리즘^[5], RANSAC 알고리즘^[7], VP 알고리즘^[6]과 비교 분석하였으며 표 2과 그림 8에서 결과를 나타내었다. 단, 입력 영상의 일치점 검출은 KLT 알고리즘^[8]을 사용하였다. 결과에서 보듯이 제안한 SSOR 알고리즘이 합성 영상과 실 영상 모두에서 에피폴라 거리 에러가 가장 낮음을 알 수 있다.

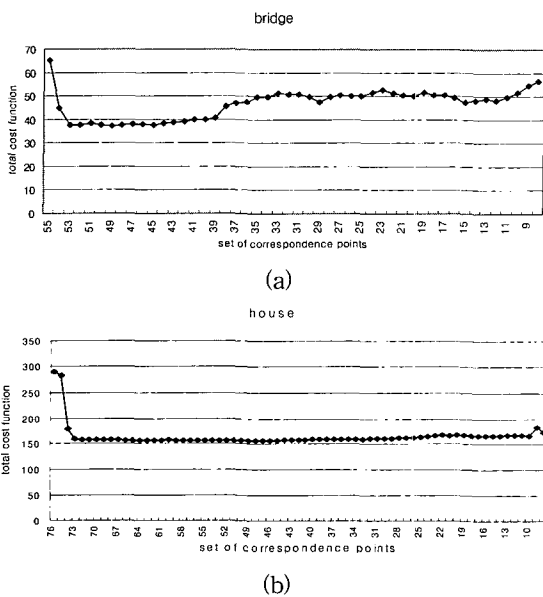


그림 7. 실 영상에 대한 총 비용함수 변화그래프
(a) bridge 영상 (b) house 영상
Fig. 7. Variation graph of total cost for real images.
(a) bridge image (b) house image

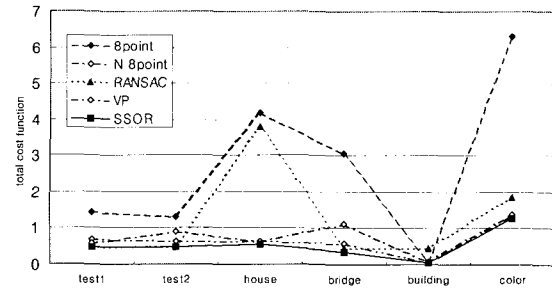


그림 8. 성능 평가 그래프
Fig. 8. Graph of performance evaluation.

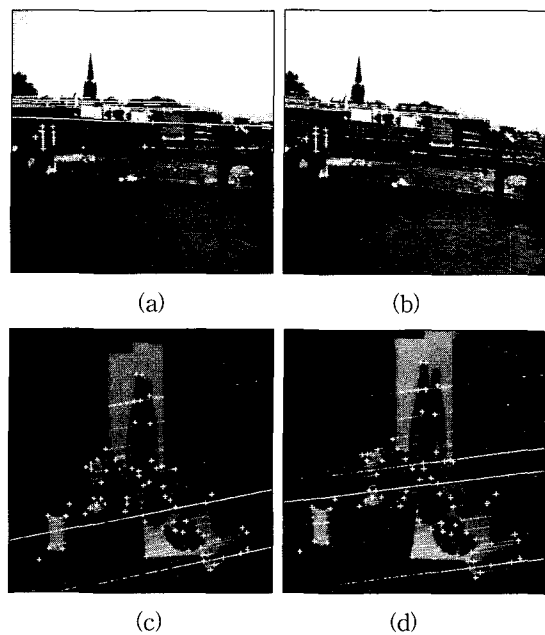


표 2. F-행렬 추정에 대한 성능 평가
Table 2. Performance evaluation for estimating F-matrix

	8-point	N 8-point	RANSAC	VP	SSOR
test1	1.441	0.687	0.482	0.586	0.482
test2	1.303	0.648	0.475	0.905	0.474
house	4.170	0.626	3.805	0.645	0.570
bridge	3.049	0.591	0.461	1.122	0.338
building	0.063	0.064	0.457	0.083	0.059
color	6.303	1.331	1.871	1.378	1.281

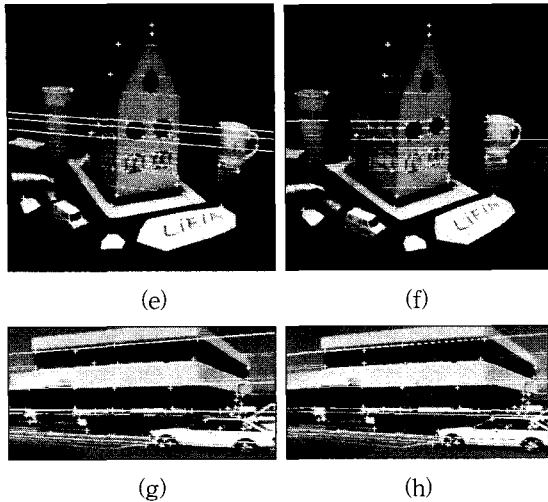


그림 9. 에피폴라 라인 검출 결과(SSOR 알고리즘)
 (a),(b) bridge 영상 (c),(d) color 영상
 (e),(f) house 영상 (g),(h) building 영상
 Fig. 9. Results of epipolar line detection (SSOR Algorithm)
 (a),(b) bridge images (c),(d) color images
 (e),(f) house images (g),(h) building images

실험에 사용된 실 영상에 대해 SSOR 알고리즘을 적용시킨 F-행렬의 추정 결과를 그림 9에서 나타내었다. 그림에서 흰색선은 에피폴라 라인을 나타낸다.

VI. 결 론

본 논문은 시점을 달리하는 영상으로부터 3차원 장면 복구에 필요한 F-행렬의 추정에 관한 연구로 잡음에 강한 SSOR 알고리즘을 제안하였다. F-행렬을 계산하기 위해 입력으로 요구되는 일치점에는 잘못된 일치점등 기하구조에 영향을 미치는 잡음을 내포하고 있으며 이를 outlier와 미세잡음으로 구분하였다. outlier를 단계적으로 제거시키기 위한 판단조건으로 에피폴라 거리를 사용하였으며 에피폴라 거리가 가장 먼 일치점을 반복적으로 제거함으로써 최대 이용 가능한 일치점을 입력으로 사용함으로써 기존의 최소개의 일치점으로 F-행렬을 계산할 때 보다 잡음에 강한 효과를 나타낸다.

제안 알고리즘의 성능평가를 위해 합성 영상과 실 영상에서 시물레이션하였다. 실 영상에 대한 일치점 검출은 KLT 알고리즘을 사용하였으며, 시물레이션 결과 기존의 8점 알고리즘, 정규화된 8점 알고리즘, VP 알고리즘, RANSAC 알고리즘보다 향상된 결과를 보였다.

향후 계산된 F-행렬을 이용하여 장면의 3차원 유클리디언 복구를 연구할 계획이며 제안한 알고리즘은 다른 종류의 데이터 피팅(data fitting)문제를 해결하는데도 좋은 결과를 나타낼 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] O. D. Faugeras, "What can be seen in three dimensions with an uncalibrated stereo rig?," *Proceedings of the 2nd European Conference on Computer Vision*, Santa Margherita, pp.563-578, 1992.
- [2] P. Devernay and O. Faugeras, "From projective to euclidean reconstruction," *Conference on Computer Vision and pattern Recognition*, IEEE Computer Soc. Press, pp.264-269, 1996.
- [3] R. Koch, M. Pollefeys and L. Van Gool, "Automatic 3D Model Acquisition from Uncalibrated Image Sequences," *Proceedings Computer Graphics International*, pp.567-604, Hannover, 1998.
- [4] H. C. Longuet-Higgins, "A Computer Algorithm for Reconstructing a Scene from Two Projections," *Nature* 293, pp.133-135, Sep., 1981.
- [5] R. I. Hartley, "In Defence of the Eight-Point Algorithm," *Proceedings of IEEE International Conference on Computer Vision*, pp.1064-1070, 1995.
- [6] Boufama B and Mohr, R, "Epipole and fundamental matrix estimation using the virtual parallax property," *In Proceedings ICCV95*, pp.1030-1036, 1995.
- [7] P. Torr and D. Murray, "The Development and Comparison of Robust Methods for Estimating the Fundamental Matrix," *International Journal of Computer Vision*, 3(24), pp.271-300, 1997.
- [8] J. Shi and C. Tomasi, "Good features to track," *CVPR*, pp.593-600, June, 1994.

저 자 소 개



金孝成(正會員)

1998년 2월 동서대학교 전자공학과
학사. 2000년 2월 부산대학교 전자공
학과 석사. 현재 부산대학교 전자공
학과 박사과정. <주관심분야> 3차원
복원, 패턴인식, 가상현실

田桂録(正會員) 第38卷 SP編 第2號 參照

현재 부산대학병원 의공학과 과장, 교수

李尙昱(正會員) 第34卷 S編 第6號 參照

현재 경상대학교 정보통신공학과 교수, 해양산업연구소
연구원

南基坤(正會員) 第37卷 CI編 第7號 參照

현재 부산대학교 전자공학과 교수. 부산대학교 컴퓨터
및 정보통신 연구소 연구원

鄭斗泳(正會員) 第35卷 S編 第2號 參照

현재 거제대학 전자과 부교수