

# 크기와 회전 변화를 고려한 특징 기반 고속 영상 정합 기법

배기태<sup>1</sup>, 김송국<sup>2</sup>, 이철우<sup>3</sup>  
전남대학교 컴퓨터정보통신공학과<sup>1 2 3</sup>  
{bkt2002<sup>1</sup>, uaini<sup>2</sup>, leecw<sup>3</sup>}@image.chonnam.ac.kr

## Feature-Based High Speed Image Registration With Rotation and Scale Change

Bae Ki Tae<sup>1</sup>, Kim Song Gook<sup>2</sup>, Lee Chil Woo<sup>3</sup>  
Dept. of Computer Engineering, Chonnam Nat'l University<sup>1 2 3</sup>

### 요약

본 논문에서는 제약되지 않은 카메라에서 얻어진 회전과 크기 변화를 가진 영상들을 특징 기반의 보로노이 거리 매칭 방법을 이용하여 고속으로 합성하는 기법에 관해 기술한다. 기존의 특징점 기반 매칭 기법들이 사람의 개입에 의해 영상을 정합하거나, 크기나 회전 변화를 고려하지 않은 형태의 영상들을 처리하는 것과 달리 회전이나 크기변화요소가 포함된 입력영상들을 사람의 개입이 없이 자동으로 정확한 중첩영역을 빠르게 검색하는 방법을 제안한다. 제안된 방법은 우선 영상내의 특징 점들의 위상 정보와 특징 점들 사이의 거리 정보를 가지는 보로노이 거리 정합법을 통해 대응점을 구하고, 찾아진 대응 쌍들을 이용하여 2차원 투영의 초기 변환행렬을 구한다. 다음으로 비선형 이송오차 최적화 알고리즘을 이용하여 최적의 변환 행렬을 구한 후, 마지막으로 구해진 변환 행렬을 이용하여 영상을 합성한다. 실험결과를 통해 본 논문에서 제안한 방법의 효율성을 보인다.

Keyword : 보로노이, 영상 정합, 변환 행렬

## 1. 서론

복수의 영상간의 대응 관계를 찾는 것은 스테레오 정합, Tracking, 가상 현실, 움직임 추정, 영상교정, 3 차원 스테레오 기하에 의한 3 차원 정보 추출 등 컴퓨터 비전 분야[1]에서 중요한 부분으로 인식되어 왔다. 영상 정합 알고리즘에 있어서 중요한 핵심기술은 두 영상간의 정확한 중첩 영역을 찾는 기술과 중첩영역을 기준으로 여러 영상을 불연속점 또는 왜곡이 없이 매끄럽게 합성하는 기술이다.

영상 정합 과정에서 두 영상의 대응영역을 찾는 기술들은 지난 수십 년간 많은 연구가 진행 되어

왔다. 대응영역을 찾는 방법에는 크게 영역 기반 방법과 특징 점 기반 방법[4]이 있다. 영역 기반 방법은 모든 영상의 픽셀들을 고려해야 하는 반면에 특징기반 방법은 일정하게 선택된 특징 점들만을 고려하기 때문에 계산시간을 줄일 수 있고 가장 많이 사용되어 왔다. 대표적인 영상 대응 검색 방법에는 영상 간의 상관을 이용하거나[2][3], 또는 광류를 이용 하는 방법, 특징 점간의 거리 제약[5][6]를 이용하는 방법들이 있다. 영상 간의 상관을 이용하는 방법은 중첩영역간의 단순 휘도 차를 이용하기 때문에 직관적이고 구현이 쉬우나 영상의 조명 환경, 즉 영상전체의 밝기가 변하면 정확한 대응을 찾기가 어렵게 된다. 특징점 간의 거리 제약을 이용하는 방법[6]은 찾아낸 특징 점들이

본 연구는 전남대학교 “고품질 전기 전자 부품 및 시스템 연구센터”의 연구비 지원에 의해 수행되었음.

영상 간에 서로 임의의 대응을 갖는다고 가정하고 그중 거리 오차가 가장 적은 결합을 영상 대응으로 추정하는 방법이다. 이 방법은 영상의 에지와 같은 저수준의 특징을 이용하는 방법으로 Hierarchical Chamfer Matching, Hausdorff Distance(HD)등이 그 대표적인 예라고 할 수 있다. HCM 방법은 물체의 에지로부터 특징점을 얻은 후 특징점 사이의 유사도에 의해 물체 정합을 수행하는 방법이다. HD 정합 방법은 에지로부터 특징점을 구하지 않고 전체 에지점 집합들 사이의 HD 에 의해 물체의 유사도를 판단하는 방법이다. 이 방법은 이진 영상내의 모든 점에 대한 거리 계산 과정을 수행해야 하므로 특징점의 수가 많아질수록 계산량이 복잡해질 뿐만 아니라 제약을 가하기가 어려워져 오류를 일으키기 쉽다.

위에서 언급한 방법들은 정확한 정합 위치를 찾는데 많은 시간이 걸릴 뿐만 아니라 회전이나 크기, 이동을 고려하지 않은 방사형 형태의 영상만을 처리하기 때문에 확장성이 떨어지는 단점이 있다. 본 논문에서는 위와 같은 사실들을 배경으로 회전이나 크기 상하이동 요소가 포함된 입력영상들을 사람의 개입이 없이 자동으로 정확한 중첩영역을 빠르게 검색하는 방법을 제안한다. 제안한 방법의 특징은 영상간의 중첩이 일어날 부분을 제한하여 그 영역 안에서 특징점을 구하고, 영역 내의 특징점들의 기하 위상 정보와 특징점 사이의 거리 정보를 가지는 보로노이(voronoi) map 을 이용하여 특징점들의 배열구조가 유사한 대응영역을 찾아 최적의 대응을 찾게 되므로 구현이 쉽고 처리 속도가 빠른 장점이 있다. 또 화소 전체의 유사성을 고려하기 위해 먼저 구한 변환을 초기 모델로 하여 Levenberg-Marqudt 알고리즘에 의해 최적 변환 행렬을 구한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2 절에서는 본 논문에서 제안한 보로노이 거리 기반의 대응 영역 검색 및 모델 생성을 위한 특징점 추출 방법에 대해 설명하고 3 절에서는 변환행렬 계산 및 최종 영상 생성에 대해 기술하며 4 절에서는 실험을

통하여 제안한 알고리즘의 효율성을 알아보고 결론을 맺고 향후 연구 과제에 대해서 언급한다.

## 2. 보로노이 거리 기반 대응 영역 검색 기법

본 논문에서 제안하는 영상 대응 관계 계산 과정은 그림 1 과 같다. 입력된 영상들은 중첩영역이 대략 영상의 1/4 영역 안에 존재한다고 가정한다. 이러한 제약은 영상간의 안정적인 대응관계를 계산하고 영상 입력 시 발생하는 크기나 회전 정보의 왜곡을 줄이는데 그 목적이 있다.

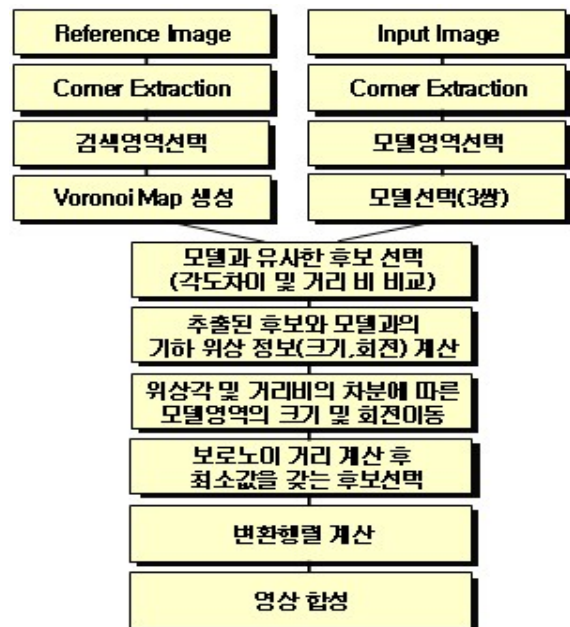


그림 1. 제안하는 영상 대응 관계 계산 과정

### 2-1. 특징점추출 및 모델 선택

영상간의 대응관계는 눈에 띄는 특징점을 기준으로 주변의 밝기 변화를 비교하면 쉽게 찾을 수 있다. 본 논문에서는 특징점을 검출하기 위해 Harris 코너 검출기를 사용하였다.

영상 안에서 한 점을  $I(x,y)$ 라고 정의했을 때  $x$  와  $y$  의 2 차 편 미분값을 구하여 식(1)과 같은 헷세 행렬을 생성한다.

$$M = \begin{bmatrix} \left(\frac{\partial I}{\partial x}\right)^2 & \left(\frac{\partial I}{\partial x}\right)\left(\frac{\partial I}{\partial y}\right) \\ \left(\frac{\partial I}{\partial x}\right)\left(\frac{\partial I}{\partial y}\right) & \left(\frac{\partial I}{\partial y}\right)^2 \end{bmatrix} \quad (1)$$

생성된 행렬  $M$  을 이용하여 각 점마다 식(2)에서 정의한 행렬식  $R$  을 계산한다. 정해진 윈도우 영역 내에서  $R$  값을 비교한 후 가장 큰  $R$  값을 가진 점을 특징 점으로 선택한다.

$$R = \det M - k(\text{trace}M)^2 \quad (2)$$

식(3)은 위에서 정의한 식을 행렬식의 고유값 형태로 나타낸 식이다. 만일 영상 안의 어떤 점에서 행렬  $M$  의 2 개의 고유값  $\lambda_1$  과  $\lambda_2$  의 값이 크게 나왔다면 이는 그레이 레벨의 변화가 심하게 일어난 곳을 의미하며 이 점이 특징 점으로 선택될 가능성이 크다는 것을 의미한다.

$$C = \begin{bmatrix} \sum I_x^2 & \sum I_x I_y \\ \sum I_x I_y & \sum I_y^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \lambda_1 & 0 \\ 0 & \lambda_2 \end{bmatrix} \quad (3)$$

추출된 특징 점들의 고유 값들의 집합을  $L = \{\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_k, \dots, \lambda_n\}$  라고 하고 모델 영역의 특징 점들의 집합을  $M = \{p_1, p_2, \dots, p_k, \dots, p_n\}$  이라고 정의했을 때, 본 논문에서는 모델영역에서 선택된 특징 점이 검색영역에서 누락되지 않게 하기 위해 모델영역에서 구해진 특징 점들을 식(4)와 같이 고유값 순으로 정렬하여 상위 6 개를 특징 점 후보로 선택한다.

$$A = \text{Sort}(L, 6) \quad (4)$$

$$A = \{a_1, a_2, \dots, a_6\}$$

## 2-2. 후보 선택 및 기하 위상 정보 계산

후보 선택 및 기하 위상 정보 계산 방법은 다음과 같은 순서로 진행된다.

- 1) 모델 영역에서 선택된 6 개의 후보중 각각 3 점에 대해 벡터 사이의 각도와 유클리드 거리의 비를 계산한 후 저장한다.
- 2) Reference Image 상의 검색영역에 있는 점들 상호 간의 각도와 거리의 비를 저장한다.
- 3) 각도와 거리의 비를 정규화 한 후에 일정 범위에 속하는 후보 점들을 추출한다.

- 4) 모델 영역(특징점 집합)을 구해진 각도 차이와 크기 변화를 이용하여 회전이동 및 크기를 변화 시킨다.
- 5) 최종적으로 회전 이동 및 크기 변화된 후의 모델 영역(특징점 집합)을 보로노이 맵상에 매칭시킨 후 가장 작은 값을 최종 후보로 선택한다.

## 2-3. 보로노이 Map 생성 및 보로노이 거리 계산

기준영상에 대해 모델영역과의 매칭에 필요한 보로노이 Map 을 생성한다. 여기서 모델영역은 앞 단계에서 구해진 각각의 후보들의 위상각과 크기 비율을 기준으로 크기변화 및 회전이동 된 후 보로노이 Map 상의 보로노이 거리가 최소값이 되는 중첩영역을 찾는데 사용된다. 보로노이 Map 은 보로노이 다이어그램(Voronoi Diagram)으로부터 영상을 특징 점 중심의 거리로 표현하는 방법으로 구해진다. 모델 영역은 보로노이 Map 의 시작부터 끝까지 차례로 회전하여 보로노이 거리(Voronoi Distance)의 합이 최소가 되는 정합 영역을 찾는데 사용된다. 따라서 기준 영상에 대해 모델 영역과의 매칭에 필요한 보로노이 평면을 생성해야 한다.

보로노이 평면은 기준 영상의 각 요소 (x,y)에서 가장 가까운 특징 점과의 거리정보를 정의하고 있는 2D 평면(2 차원 배열)을 말하는데, 각 요소의 거리 정보를 보로노이 거리라 한다. 보로노이 평면의 각 요소의 위치는 기준 영상의 위치와 동일하며 다만 각 요소의 값이 색깔 값이 아니라 가장 가까운 특징 점과의 거리 값인 것이 다른 점이라고 할 수 있다.

보로노이 평면을 생성하기 위해서는 보로노이 평면의 각 요소에 대한 보로노이 거리를 계산해야 한다. 기본적인 보로노이 거리 계산 방법은 보로노이 평면 각 요소 (x,y)에서 기준 영상의 각 특징 점 좌표와의 x 축 거리와 y 축 거리 중 큰 것을 구한 다음 이들 중에서 가장 작은 값으로 정해진다. 이렇게 하면 특징 점 주변 대각 위치 거리

값이 x 위치나 y 위치의 값과 같게 되므로 그림 4와 같은 결과를 보인다.

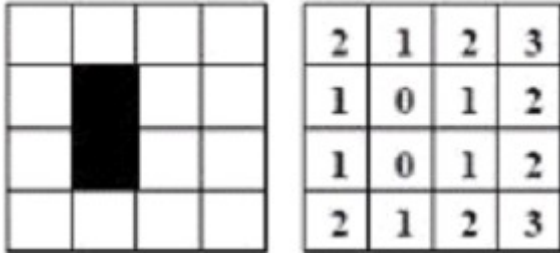


그림 4.보로노이 Map (검은 부분이 Harris 알고리즘에 의해 구한 특징점 P)

그림 5는 실제 영상을 외곽선을 검출한 후 구해진 에지점들을 기준으로 보로노이 Map을 생성한 그림이다. 특징점에서 멀어질수록 밝아지고 특징점에 가까울수록 어두워지는 것을 알 수 있다.

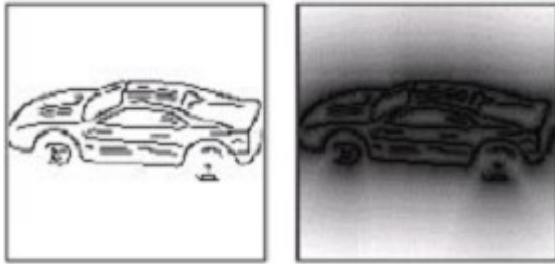


그림 5. 실제 영상에 적용한 후의 보로노이 Map

그림 4에서 보인 보로노이 다이어그램에 대해 그림 6과 같이 집합 P의 점으로부터의 거리를 높이로 생각하면 거리 값이 0이 되는 점을 꼭지점으로 하는 원뿔들이 만들어진다. 원뿔의 꼭지점은 국소 극소점(local minima)이 되며 원뿔이 교차하는 지점은 2개의 국소 극소점들로부터 등거리에 있는 국소극대점(local maxima)이 된다.

이 원뿔의 표면을 보로노이 평면(Voronoi Surface)이라고 한다. 보로노이 평면에 있는 한 점의 높이 값은 특징점으로부터의 거리에 해당된다.

그림 6은 보로노이 평면을 옆에서 본 단면이다. 각각 회전 이동과 크기가 변화된 모델영역을 기준영상의 보로노이 평면 위에 위치시키면 모델영역의 특징점에서 수선을 내려 맞는 점의 높이를 모두 합한 값이 보로노이 거리이다. 모델영역을 일치하는 위상각과 크기에 맞게 회전 이동과 크기변화를 시킨 후에 보로노이 평면의

특징 점과 일치시키면 물리적으로 안정된 상태가 되고 보로노이 거리는 0이 된다.

본 논문에서는 Harris 코너 검출기에 의해 얻어진 기준영상의 코너를 토대로 보로노이 평면을 생성한다. 이 영상은 각 점에서 가장 가까운 특징점까지의 거리가 기록된 디지털 영상이 된다.

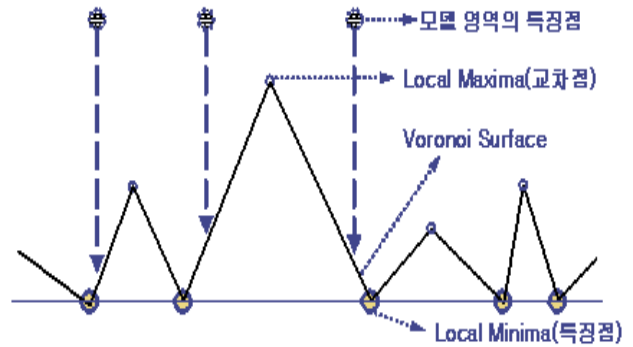


그림 6. 보로노이 평면의 단면과 정합영역의 특징점

#### 2-4. 기하위상 정보(회전 및 크기 정보)를 이용한 최종 후보 선택

우리가 찾고자 하는 것은 주어진 모델영역과 구조적으로 유사한 중첩 영역이다. 식(10)은 보로노이 거리(Voronoi Distance)를 계산하는 변환  $t$ 를 나타내고 있다.

$$f(t) = V(A, t(B)) = \sum_{p_i \in (B)} d(A, p_i) \quad (10)$$

여기서  $f(t)$ 는 보로노이 거리,  $A$ 는 기준영상의 보로노이 평면(Voronoi Surface),  $B$ 는 입력영상의 모델영역,  $t$ 는 변환행렬,  $d(A, p_i)$ 는  $A$ 의  $p_i$ 에서의 높이 값을 나타낸다. 모델영역과 정확히 일치하는 지점에서의 보로노이 거리는 0을 나타내고 그림 7은 모델영역과 정확히 일치하는 지점에서의 보로노이 거리(Voronoi Distance)를 계산한 것이다.

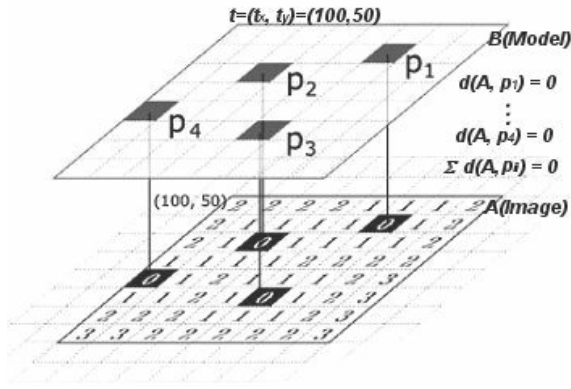


그림 7. 모델영역과 일치하는 영역에서의 보르노이 거리 계산

후보 쌍들의 위상정보를 기준으로 크기 변화 및 회전 이동된 모든 모델 영역의  $f(t)$  값을 구한 후 가장 값이 작은 모델 영역을 최종 후보로 선택한다. 식(11)에서  $M$ 은 가장 작은 값을 가진 모델영역을 가리키며  $n$ 은 후보 수를 나타낸다.

$$M = \min(f(t_1), f(t_2), \dots, f(t_n)) \quad (11)$$

그림 8은 모델영역에 대한 기준영상의 보르노이 거리를 계산한 결과를 보여주고 있다. 그림 8의 (c)를 보면 보르노이 거리 값이 가장 작은 영역이 선택된 모습을 볼 수 있는데, 이는 보르노이 거리가 거의 0에 가깝다는 것을 의미한다. 이는 후보 모델영역의 특징 점들이 검색영역의 가장 비슷한 위치에 겹쳐졌다는 것을 의미하며, 이 모델영역이 최종 후보로 선택된다.

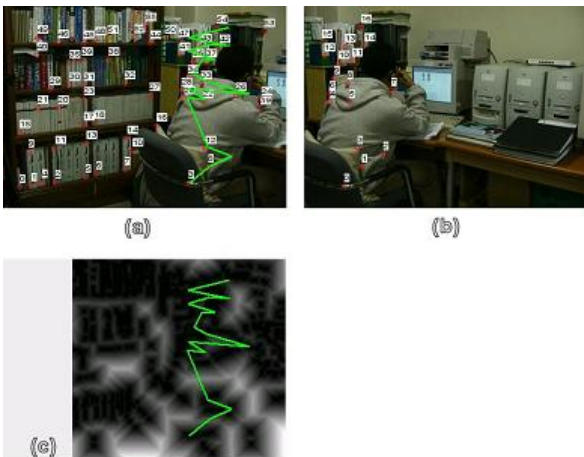


그림 8. 세 후보 쌍의 보르노이 거리 검색  
(a) 검색영역상의 매칭 결과 (b) 모델(특징점집합)  
(c) 보르노이 맵상의 매칭결과

### 3. 변환 행렬 계산 및 최종 영상 생성

2차원 좌표계의 임의의 점을  $x = \{x, y, 1\}$ 이라고 할 때 2차원 투영변환에 의한 새로운 점의 좌표  $x'$ 는 다음과 같이 계산된다.

$$x' = Mx = \begin{bmatrix} m_0 & m_1 & m_2 \\ m_3 & m_4 & m_5 \\ m_6 & m_7 & m_8 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

여기서  $m_0, m_1, m_3, m_4$ 는 회전과 크기 요소,  $m_2, m_5$ 는 이동요소,  $m_6, m_7$ 는 비례변환요소,  $m_8$ 는 1을 나타낸다. 식에 의해 4개의 대응특징 점에 의하여 두 영상간의 대응관계를 계산할 수 있고 변환행렬  $M$ 이 구해진다. 따라서, 검색된 중첩영역에서 4쌍의 대응특징 점을 선택하여야 한다. 이 때 대응특징 점은 중첩된 사각영역의 8개의 꼭지점이다. 이렇게 구해진  $M$ 을 Levenberg-Marquardt 알고리즘을 이용하여 최적의 변환행렬을 구한다. 본 논문에서는 독립된 영역에 대해서만 위 알고리즘을 수행하여 최적의 변환행렬을 구하고 결정된 변환행렬을 합성할 전체 영역에 최종적으로 적용시켜 계산시간을 줄였다. 최종적으로 자연스러운 영상을 획득하기 위해서 영상을 합성하기 전에 각 영상에 블렌딩을 수행한다.

### 4. 실험 결과 및 결론

실험은 회전 요소가 포함된 영상과 상하이동요소가 포함된 영상, 회전 요소와 크기 변화 요소가 포함된 영상으로 나누어 실험하였다. 실험 결과를 보면 세가지 경우(그림 7, 8, 9) 모두 안정된 결과를 보임을 알 수 있다. 특히 회전 요소와 크기 변화가 있는 경우에도 정확한 대응점을 도출하여 정확한 모자의 영상을 생성하는 것을 볼 수 있다.

그림 10은 수치 자료를 각 방법 별로 검색 시간을 구성하는 항목들을 합산하여 하나의 검색 시간으로 나타낸 것이다. 본 논문에서 제안한 보르노이 거리 기반 검색 방법이 검색 시간과 회전 및 크기변화가 있는 영상 모두 매우 좋은 결과를 보임을 알 수 있다.

본 논문에서는 손에 든 비디오 카메라로 인접한 장면을 연결하여 촬영한 영상간의 중첩영역을

빠르고 정확하게 검색하는 방법에 대하여 기술하였고, 보로노이 거리(Voronoi Distance)의 선형적인 특성에 기반한 형태 정보 매칭 기법을 사용하였다. 영역 간의 구조적인 유사 도와 형태정보를 이용함으로써 빠르면서 회전 과 크기에 불변하는 중첩영역 검색이 가능하도록 하였다.

향후 연구 방향은 3 차원 변화가 있는 영상의 중첩영역 검색이 가능케 하는 방법과 시간을 효과적으로 줄이는 방법에 대하여 연구할 계획이다.

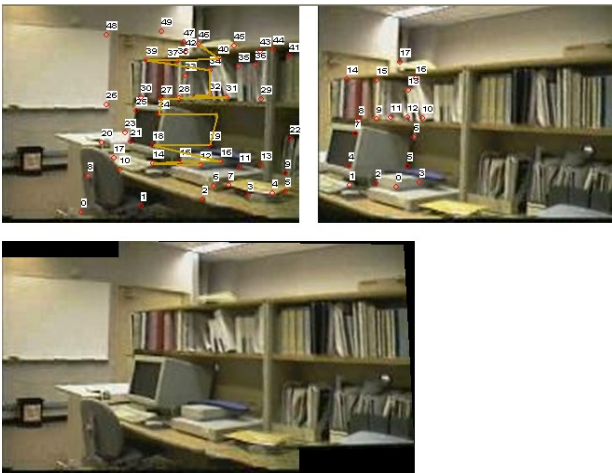


그림 7. 상하이동요소를 포함하는 실내 영상



그림 8 회전 요소가 있는 실외 영상

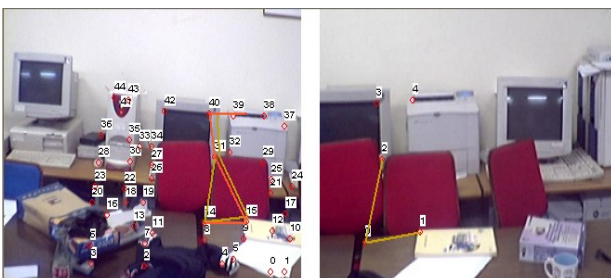


그림 9. 크기, 회전 변화요소가 있는 실내 영상

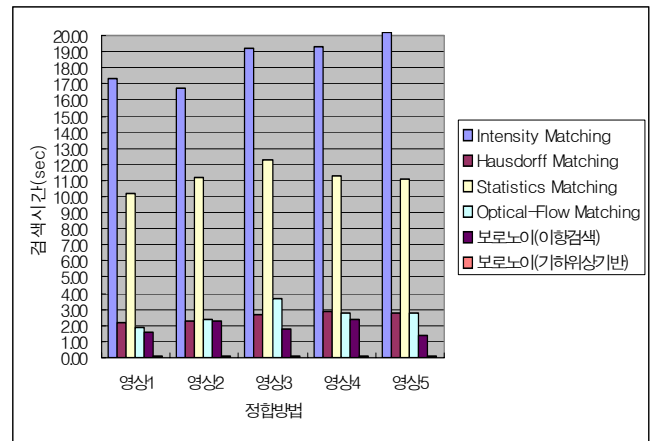


그림 10. 특징점 기반 영상 정합법의 검색 시간 비교 그래프

### [참고문헌]

- [1] Darius Burschka, Dana Cobzas, Zach Dodds, Greg Hager, Martain Jagersand, and Keith Yorex, "Recent Methods for Image-based Modeling and Rendering", IEEE Virtual Reality tutorial 1, March 2003.
- [2] B. S. Reddy and B. N. Chatterji, "A FFT-Based Technique for Translation, Rotation, and Scale-Invariant Image Registration", IEEE Trans. Image Processing, Vol. 5, No. 8, 1996.
- [3] Minyeong Chong, Seunghyun Choi, Kitae Bae, Chilwoo Lee, "Real-time Image Mosaic Using DirectX", Journal of Korea Information Processing Society, Vol 10-B, No 7, pp803-810, 2003. 12.
- [4] Naoki Chiba, Hiroshi Kano, Minoru Higashihara, Masashi Yasuda, and Osumi, "Feature-Based Image mosaic", MVA'98 IAPR Workshop on Machine Vision Applications, pp5-10, 1998.
- [5] Chilwoo Lee, Minyeong Chong, Kitae Bae, and Donghwi Lee, "Image Mosaicing using Voronoi Distance Matching", Journal of Korea Multimedia society, Vol 6, No. 7, pp1179-1188, 2003. 12
- [6] G. Borgefors, "Hierarchical Chamfer Matching; A Parametric Edge Matching Algorithm," IEEE Trans, Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol.10, no. 6, pp.849-865, Nov. 1988.