

고속 검사자동화를 위한 에지 기반 점 상관 알고리즘의 개발

Development of an edge-based point correlation algorithm for fast and stable visual inspection system

강 동 중*, 노 태 정

(Dong-Joong Kang and Tae-Jung Lho)

Abstract : We presents an edge-based point correlation algorithm for fast and stable visual inspection system. Conventional algorithms based on NGC(normalized gray-level correlation) have to overcome some difficulties in applying automated inspection systems to real factory environment. First of all, NGC algorithms involve highly complex computation and thus require high performance hardware for realtime process. In addition, lighting condition in realistic factory environments is not stable and therefore intensity variation from uncontrolled lights gives many troubles for applying NGC directly as pattern matching algorithm. We propose an algorithm to solve these problems, using thinned and binarized edge data, which are obtained from the original image. A point correlation algorithm with the thinned edges is introduced with image pyramid technique to reduce the computational complexity. Matching edges instead of using original gray-level image pixels overcomes problems in NGC method and pyramid of edges also provides fast and stable processing. All proposed methods are proved by the experiments using real images.

Keywords : visual inspection, normalized gray-level correlation, point correlation, edges, image pyramid.

I. 서론

본 논문에서는 산업현장에서 생산 및 검사 자동화 공정에 적용 가능한 새로운 개념의 고속 점 상관(point correlation) 알고리즘의 개발과 관련이론의 정립을 목표로 한다. 머신비전(Machine Vision) 시스템을 이용한 부품 및 외관 자동검사 시스템은 현재까지 육안검사로 이루어지고 있는 검사공정의 제품을 자동으로 검사하게 함으로써, 제품의 품질향상 및 균일화, 인건비 절감 및 생산성 증대를 이룩하여 기업의 경쟁력을 높이기 위해 주로 사용된다. 각종 자동화 및 검사공정에서 사용되는 머신비전 알고리즘은 검사공정의 대부분(약 80%이상)이 농담정규화 상관법(Normalized Gray-scale Correlation: NGC)을 기반으로 많은 분야에서 사용되고 있다. 현재 국내외에서 경쟁적으로 관련 알고리즘의 개발과 상용화가 이루어지고 있으며 생산 및 검사 공정에 적용하기 위한 다양한 시도가 행해지고 있다[1][2]. 본 논문에서는 NGC의 개발과 더불어 조명의 영향을 상쇄시키고 처리속도를 향상시키기 위해 에지처리에 기반을 두고 있는 점 상관 알고리즘을 제안한다. 기존의 NGC법의 문제점인 회전 및 크기변화에 대한 검사를 수용하면서도 고속으로 동작 가능한 핵심 머신 비전 알고리즘의 개발에 대한 이론적 연구결과 및 이의 실험을 통한 검증과 분석으로 에지 기반 점상관이론의 실제 적용가능성을 검증한다[1].

점상관 알고리즘은 1994년 Krattenthaler가 제안한 방법으로 기존의 NGC알고리즘이 템플레이트 영상을 구성하는 모든 점을 패턴매칭에 사용하는 것에 착안하여 템플레이트에서 중요한 몇 개의 점만을 키 점(key point)으로 선정하여 매칭에 사용하는 방법이다[3]. 이 방법은 계산속도를 증가시키는 효과가 있으나 몇

가지 문제점을 내포하고 있다. Krattenthaler가 제안한 방법은 원본 영상의 명암(gray) 데이터를 그대로 사용한다. NGC는 처리속도의 향상을 위해 영상 피라미드(image pyramid)[4][5]를 구축하여 사용하는 것이 일반적이나 흑백명암 데이터를 사용하여 영상피라미드를 구축하면 원본영상에서 물체경계의 밝기변화가 선명하지 않은 경우, 피라미드의 상위레벨에서 물체경계정보가 사라져 버리는 특성이 자주 나타난다. 예를 들면, 동전의 내부 패턴을 인식하려 할 때, 원본 영상에서도 내부 패턴의 경계는 뚜렷하지 않으므로 피라미드 상위레벨에서 동전내부 패턴은 거의 나타나지 않는다. 또한 NGC알고리즘은 검사할 영상이 동적으로 변화하는 조명조건 하에 놓여질 때, 밝기값의 변이에 따라 패턴매칭의 결과가 불안정해지는 특징을 가진다. 이러한 단점들을 해결하기 위해 본 논문에서는 영상의 이진화된 에지(edge)를 사용하는 점상관 알고리즘을 제안한다. 이진화된 에지정보는 피라미드의 상위레벨에서도 그 정보를 그대로 유지할 수 있기 때문에 세밀한 물체내부의 패턴을 피라미드 상위레벨에서 그대로 유지하는 것이 가능하다. 모델구축은 오프라인상에서 구축되기 때문에 모델 작성단계에서는 에지의 경계추적 등을 적용하여 잡영 에지의 영향을 최소화 시킨다. 물체의 에지는 주위 밝기 변화에도 불구하고 그 경계특성을 잘 유지할 수 있으며 이진화된 에지로 추출할 경우, 밝기변이에 대한 영향이 최소화되는 특징이 있다. 점상관 알고리즘 자체가 비록 템플레이트 영상에서 키 점들의 선택 사용으로 인해 계산량을 소폭 줄이지만 이 방법 자체로는 실시간에 근접하는 패턴탐색 처리가 어렵다. 따라서, 본 논문에서는 기존의 NGC와는 달리 에지영상의 피라미드를 구성하여 이진화된 에지영상으로 고속탐색을 수행한다. 제안된 방법들은 실제 검사 영상을 사용하여 성능과 신뢰성을 분석, 검증한다.

II. 패턴정합 알고리즘

과거 수년동안 많은 비전 시스템들은 고정밀도로 관심 있

* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수 : 2003. 1. 27., 채택확정 : 2003. 6. 5.

강동중, 노태정 : 동명정보대학 정보공학부

(dj kang@tit.ac.kr/tjlno@tit.ac.kr)

※ 이 논문은 2002년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었음 (KRF-2002-003-D00316).

는 패턴들을 검사영상에서 찾기 위해 정규화 상관법(normalized correlation)을 사용해 왔다. 기준 패턴(reference pattern)에 상대적인 비교대상으로 입력되는 검사할 영상에 대해 탐색(searching)과 정합(matching)을 수행하는 이 기술은 많은 분야에서 일반적인 검사 알고리즘으로 사용되는 넓은 응용성을 가지고 있다. 신뢰성과 안정성을 기반으로 다양한 분야에서 응용되고 있으며, NGC에 기반하는 방법이 주로 채택되어 FA 산업이나 유관 연구분야에서 사용되어 왔다. NGC는 미리 정해진 기준 패턴을 검사할 영상내부에서 찾아 위치를 발견하는 것으로, 기준 패턴은 영상의 모든 가능한 위치로 이동 되면서 서로 겹쳐진 검사 영상의 값들에 대해 서로 대응되는 픽셀의 값을 곱하고 이 값들을 저장한다. 보통의 영상은 밝기에 대한 변화(intensity variations)가 존재하므로 밝기값의 평균크기 성분이 상쇄되도록 정규화 시킨 정합법이 농담 정규화 매칭법이다[4].

1. 두 패턴의 비교

그림 1은 2차원 평면 위에 놓여 있는 두개의 벡터 성분과 a, b를 보여주고 있다. 만일 이 두 벡터가 동일한 벡터라면 a, b 두 벡터의 크기와 방향은 서로 같다. 수학적으로 이 두 벡터의 유사성은 벡터의 내적을 이용하여 살펴볼 수 있다.

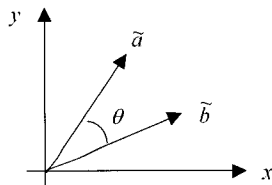


그림 1. 평면상의 두 벡터.
Fig. 1. Two vectors in a plane.

(1)에서 $\cos\theta$ 는 항상 -1과 1 사이의 값을 가지므로 두 벡터의 비교 결과는 -1에서 1사이에서 적당한 값이 계산되게 된다. 만일 두 벡터가 완전히 같은 크기와 방향을 가지고 있다면 각도 θ 는 0° 가 되고, $\cos\theta$ 의 값은 1이 될 것이다. 두 벡터가 수직을 이루거나 반대방향으로 배치되어 있다면 0이나 -1의 값이 계산될 것이다. 따라서 (1)을 두 벡터가 같은지 아닌지를 판별하기 위한 유사성의 기준으로 사용하는 것이 가능하다. $\cos\theta$ 을 r 이라 둔다면 이 r 을 상관계수(correlation coefficient)라고 부른다.

$$\cos\theta = \frac{a \cdot b}{|a| \cdot |b|} = r \tag{1}$$

위의 수식에서 $|a|$ 와 $|b|$ 는 두 벡터 a, b의 크기를 나타낸다. 서로 다른 두 벡터 a, b가 이차원 평면상의 두 벡터가 아니고 3차원 공간상의 벡터라면 두 벡터 a, b는 x, y, z의 세 방향 성분을 가지고 있을 것이며 3차원 공간상의 한 점이 될 것이다. 그래프로 나타낼 수는 없지만 a, b가 3차원보다 큰 다차원공간(hyper-space) 상에 하나의 점이라고 가정해 보자. 이때에도 상관계수를 나타내는 (1)은 그대로 적용

가능하다.

여기서 다시 영상에 대한 문제를 고려해 본다. 영상도 하나의 신호이다. 영상처리를 2차원 신호처리라고 부르는 경우도 있다. 영상신호도 신호라는 입장에서 보면 신호값들을 적당히 표본화(sampling)를 통해 취하고 취한 개수만큼의 다차원 공간을 정의하고 양자화된 크기값을 표시한다면, 하나의 영상은 이렇게 정의된 다차원 공간상의 하나의 점으로 표현할 수 있다.

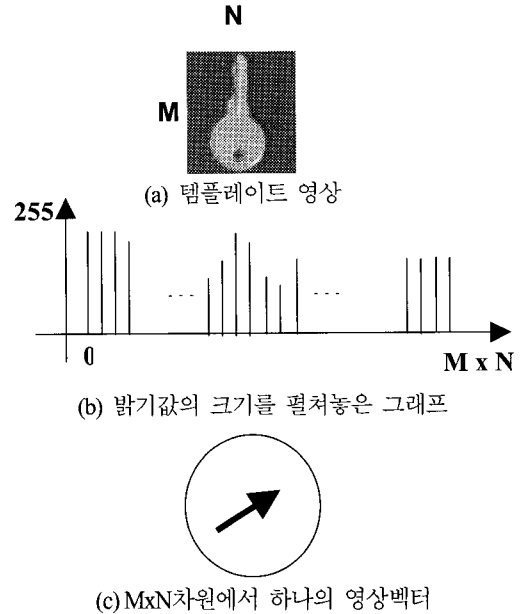


그림 2. 다차원 공간에서 영상데이터를 표현하는 벡터의 정의.
Fig. 2. Definition of the vector representing image data in hyper-space.

극단적으로 영상이 두개의 화소값만을 가지고 있다고 가정해 본다면, 바로 2차원 평면상에 하나의 점으로 표시되는 벡터가 될 것이다. 영상 정합에서 사용되는 템플레이트 영상은 $M \times N$ 크기의 화소수를 가진다. 화소의 밝기값이 각각의 대응되는 축에 대한 크기라면 템플레이트 영상이란 $M \times N$ 크기의 차원을 가지는 다차원 공간상의 하나의 점이 되는 벡터이다. 따라서 위에서 나타난 상관계수 r 은 두 영상을 비교하는 영상 상관계수로도 그대로 사용 가능하다.

그림 2(a)를 보면 내부에 열쇠가 있는 템플레이트 영상이 하나 주어져 있다. 이 영상의 크기는 $M \times N$ 이다. 화소수가 전부 MN 개가 있으므로 이 화소수를 수평축으로 하고 화소의 밝기값을 수직축으로 해서 펼친 그래프가 그림 2(b)에 나타난 밝기 그래프이다. 이때, 화소수 만큼 큰 이론적인 고차원을 하나 정의한다면 이 템플레이트의 화소값 데이터는 MN -차원상에 놓여 있는 하나의 벡터가 된다. 따라서, 템플레이트 영상은 이 영상자체가 (1)에서 표현된 상관계수를 계산하기 위한 하나의 벡터 \tilde{a} 가 된다. 단, 2차원에서 정의된 것이 아니라 MN -차원에서 정의된 벡터라는 점만 달라진다.

2. 농담정규화상관법

수년동안 NGC는 산업현장에서 영상 잡음에 강인하고 신뢰성 있는 방법으로 증명되었다[1-2]. 만일 부화소(sub-pixels)

단위의 정밀도가 요구된다면 정규화 계수치에 대한 곡면 (curved surfaces)을 정의하고 계수치들을 이용해 보간 (interpolations) 후 최대값과 위치를 얻을 수 있다. 약 1/16화소 정도의 정밀도가 계산되는 것으로 알려져 있다[6]. NGC는 밝기의 선형변화에는 불변이나 패턴의 회전, 크기변화, 투영변화, 밝기의 비선형 변화등에는 영향을 받는다. 전통적인 NGC는 모델이나 기준영상을 이용하여 검사할 영상내에 존재하는 유사한 패턴이 이동되어 있는 수평 및 수직 위치를 발견할 수 있으며 탐색을 위하여 $O(n^4)$ 의 시간 복잡도를 가지는 것으로 알려져 있다. NGC계수치를 계산하기 위한 식은 다음과 같이 (2)로 주어진다. 픽셀 인덱스에 대한 첨자는 생략하였다.

$$c = \frac{\sum I \cdot t}{\sqrt{\sum I^2 \sum t^2}} \quad (2)$$

만일 $f_1(x, y)$, $f_2(x, y)$ 가 비교될 두 영상이라면 I , t 는 다음을 의미한다.

$$I(x, y) = f_1(x, y) - m_1 \quad (3)$$

$$t(x, y) = f_2(x, y) - m_2$$

여기서 m_1 는 $f_1(x, y)$ 영상의 밝기 값의 평균이고, t 는 I 처럼 $f_2(x, y)$ 영상에서 밝기평균을 뺀 값을 나타낸다. 또 다른 표현으로는 (4)식과 같은 NGC식이 있다. 이식에서 N 은 모델영상의 픽셀 수이다. 마찬가지로 첨자는 생략했으며, I 는 영상 픽셀의 밝기값, M 은 모델 픽셀의 밝기값을 가리킨다. 이 식을 잘 분석해 보면 알고리즘에서 탐색을 위한 모듈이 시작되기 전에 미리 계산해 놓을 수 있는 부분과 그렇지 않은 부분이 합쳐져 있음을 발견할 수 있다. 탐색과정 동안 계속해서 반복 계산이 필요한 부분은 $\sum I, \sum I^2, \sum IM$ 뿐임을 알 수 있다. 이것은 탐색할 때 반복모듈 내에서 이 부분만을 연산하므로 나머지 부분을 미리 계산해 놓고 결과값만을 이용한다면 전체 수식의 연산을 위한 계산량을 크게 줄일 수 있음을 의미한다.

$$c = \frac{N \sum IM - (\sum I) \sum M}{\sqrt{[N \sum I^2 - (\sum I)^2][N \sum M^2 - (\sum M)^2]}} \quad (4)$$

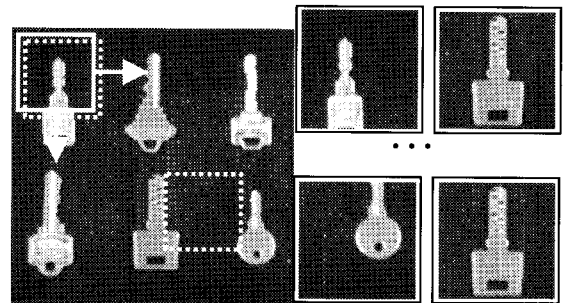
실제 검사 시, 음수 계수치는 관심의 대상이 아니므로 배제시킨다. 수식에 들어 있는 제곱근(square-root) 연산은 계산량을 상당히 증가 시키므로 이 값을 배제 하기 위해 c 값을 제곱해 준다. 따라서 최종적인 정합의 계수치는 다음과 같은 형태가 된다.

$$Score = [\max(c, 0)]^2 \quad (5)$$

그림 3은 템플레이트 모델을 이용하는 정합의 개념도를 보여준다. 미리 설정된 모델 영상을 검사영상에서 탐색하는 과정을 보여주고 있다.

템플레이트 영상을 검사할 영상에 겹쳐서 나타낸 것이 그림 3(a)이다. 영상의 왼쪽 맨 위의 시작점에 조그마한 템플레이트를 겹쳐놓고 검사할 영상의 겹쳐진 부분과 템플레이트 영상을 서로 비교한다. 비교기준치는 적용할 응용 분야에 따라 다양하게 선택할 수 있다. 계산된 비교기준치를 저장한 후에, 다시 템플레이트를 한 픽셀 왼쪽으로 옮긴다. 그리고는 다시 검사할 영상의 겹쳐진 부분과 템플레이트 영상을 비교한다.

그림 3(b)는 맨 처음 시작 부분에서 겹쳐져서 비교되어야 할 두 영상과 오른쪽 아래의 맨 마지막 부분에서 비교할 두 영상을 보여 주고 있다.



(a) 템플레이트 영상탐색 (b) 첫번째 겹침위치에서 마지막 겹침위치까지 영상비교

그림 3. 설정된 모델패턴을 검사 시편 내에서 찾아내는 과정. Fig. 3. Finding reference pattern in an inspected image.

검사할 영상의 모든 영역에서 비교 기준치를 저장한 후, 이 값이 가장 최적인 위치에 우리가 찾는 모델 열쇠가 놓여 있다고 가정한다. 따라서 템플레이트 정합에서는 이 비교 기준치를 잘 선정하는 것이 중요해진다. 비교기준치를 결정할 때 고려해야 하는 몇 가지 포인트는 다음과 같다.

- 영상 잡음에 둔감해야 함
- 밝기 변화에 둔감해야 함
- 계산량이 적어야 함

검사할 영상은 다양한 환경요인으로 영상에 잡영이 나타나게 되는데 이러한 잡영 노이즈에 영향을 받지 않는 기준치가 좋은 기준치이다. 또한, 조명의 변화로 인해 밝기의 변화가 검사영상에 나타날 때도 기준치에 이러한 영향이 적으면 좋다. 기준치를 계산할 때 과도한 연산량이 요구되면 고속 영상처리를 만들기가 힘들 것이다.

NGC알고리즘은 4차의 시간복잡도를 필요로 한다. 계산 속도를 향상시키기 위한 방법으로써 모델 패턴인 템플레이트나 비교될 영상 내부의 픽셀들을 제거 시켜 곱셈의 숫자를 줄이거나 임의적 (random) 픽셀을 선택한 후 이 픽셀만으로 계산을 함으로써 계산량을 줄이는 방법 등이 사용될 수 있다. 가장 일반적으로 사용되는 방법은 영상 피라미드를 사용하는 것이다. 영상 피라미드는 점차적으로 원본영상에 상대적으로 샘플링을 취하면서 상위 단계 영상의 크기를 줄여나가는 기법으로 피라미드의 맨 아래에는 원본 영상이 위치하며 위에는 다운 샘플링 된 영상이 차례대로 존재하게 되는 구조를 가진다. 피라미드의 상위레벨에서 대략적인 매칭을 수행하고 발견된 최적 위치 근방에서 다음 단계의 피라미드 영상

에 대해 인접한 위치 근방만을 탐색하므로써 소모적(exhaustive) 탐색을 회피하는 방법이다. 피라미드 기법을 통해 일반적으로 NGC는 실시간 처리가 가능한 방법이 될 수 있다.

III. 점상관 알고리즘

입력 영상에서 기준 템플레이트와 유사 패턴의 발견은 정규화 계수 곡면의 최대 또는 최소값과 같은 극값(extremum value)을 계산함에 의해 구해진다. 상관법을 이용하는 대부분의 매칭알고리즘들은 우수한 성능과 폭넓은 적용성에도 불구하고 계산량이 과도한 특징이 있으며 실용적인 처리를 위해서는 새로운 형태의 계산량이 개선된 알고리즘 개발이 필요한 실정이다. 본 논문에서는 새로운 형태의 상관법 기반 정합법을 제안한다. 이 방법은 상관법의 계산이 전체 템플레이트에서 수행되는 것이 아니라 템플레이트 내에 위치한 중요한(salient) 몇 개의 특징점 만을 사용하여 정합을 수행한다. 이러한 방법은 계산량을 현저히 줄이기 때문에 고속의 실용적인 상관법 기반의 매칭법을 설계하는 것을 가능하게 할 수 있다.

계산속도를 향상시키는 잘 알려진 방법중의 하나는 기 인 급한 영상 피라미드를 사용하는 것이다. 다른 방법들은 부분 템플레이트를 사용하는 것이 있다. 초기 탐색에서는 템플레이트를 샘플링(sampling)하여 몇 개의 점만을 사용하여 탐색을 수행하고 다음 단계는 이전 단계에서 발견된 최적 위치 근방에 대해 더 많은 점들을 사용하여 정합을 수행할 수 있다. 이러한 방법은 템플레이트 내에 존재하는 점들이 상관치의 계산에 동일한 중요성을 가지고 기여하지 않는다는 가정을 이용하는 것으로 몇 개의 선택된 점만을 정합에 사용하는 접근법이다. 이 방법을 점 상관법(point correlation: PC)이라 부르며 독립적으로 사용되거나 영상피라미드와 결합되어 사용될 수 있다[3][5].

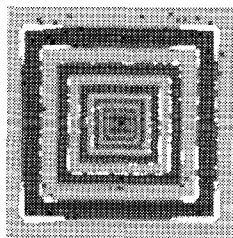


그림 4. 회전검사를 수용하기 위한 선택된 중요 픽셀들
Fig. 4. Salient pixels selected to handle rotational search

그림 4는 점상관법을 이용하는 패턴 검사를 위해 모델영상에서 설정된 중요 키(key) 점들의 예를 보여주고 있다. 영상의 기하학적 중요 특성을 묘사하는 모서리의 코너(corners) 부분에서 집중적으로 키 점들이 선택되어 있음을 볼 수 있다.

1. 점 상관법(point correlation)

대부분의 상관함수는 영상좌표 x, y 에 대한 합 $\sum_{x,y}$ 을 가지며 이 합의 계산은 정의된 템플레이트의 전체영역에 대해 계산된다.

$$\sum_{x,y} \equiv \sum_{x=1}^{X_i} \sum_{y=1}^{Y_i} \tag{6}$$

점 상관법의 경우 상관법의 계산은 템플레이트 상에 위치한 몇 개의 중요한 점들에 대해서만 수행되기 때문에 미리 정의된 K 개의 점들에 대해 상관법이 계산된다. 미리 정의된 K 개의 점들이 $P = \{(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_K, y_K)\}$ 처럼 주어진다면

$$\sum_{x,y} \equiv \sum_{(x,y) \in P} \tag{7}$$

이다. K 는 템플레이트 내에 존재하는 전체 점의 수에 비교하여 훨씬 작은 수이기 때문에 이것은 계산량의 큰 감소로 나타난다. 기존의 방법은 2차원 영상기반으로 매칭을 수행하는데 반해 점상관법은 영상전체가 아닌 몇몇의 점들의 집합으로 매칭을 수행하기 때문에 복잡도가 한단계 떨어지게 된다. 즉, 복잡도를 $O(n^4)$ 에서 $O(n^3)$ 으로 하나 끌어 내리는 것이 가능하다.

점 상관법의 계산을 위해 템플레이트 내부에 있는 점들을 단순히 임의적으로 선택하는 것 대신에 상관결과에 더 큰 영향을 미칠 수 있는 점들을 선택하는 것이 중요하다. 예를 들면 코너(image corners)나 에지 상에 존재하는 점들은 밝기가 일정한 균일 면에 존재하는 점들보다 정합에 더 큰 영향을 미칠 수 있다. 따라서 이러한 기여도에 따라 점들을 나열하여 기여도가 높은 상위의 몇 개의 점들만을 중요한(salient) 점들로 선정하여 사용할 수 있다. 실험적으로는 이러한 몇 개의 중요 점들만을 이용한 정합은 보통의 상관법에 비교하여 거의 동일한 정합결과를 주는 것으로 알려져 있다 [3].

2. 최대크기예지 샘플링법

템플레이트 영상에 존재하는 픽셀들이 동일한 중요도로 NGC에 기여하지 않는다면 각각의 구성 픽셀들은 서로 다른 특성을 가지고 정합에 기여할 것이다. 기하학적 측면에서 볼 때 패턴의 형상을 결정짓는 요소는 물체의 경계이고 물체의 경계는 에지 정보이다. 또한 선형적인 두 에지가 만나는 모서리인 코너 또한 기하학적 패턴을 결정하는 중요 요소가 될 것이다. 본 논문에서는 캐니(Canny) 연산자를 이용하여 패턴의 기하학적 특성을 추출한다[7]. 캐니에지는 1차원 미분예지 추출기이므로 추출된 에지의 폭이 넓게 분포하는 특징이 있다[8]. 이러한 특징을 상쇄시키기 위해 에지부의 최대크기만 남겨놓고 나머지 부분을 제거시키는 비최대예지역제(non-maximum suppression)알고리즘을 함께 수행한다. 보통 모델영상의 구축은 오프라인(offline)상에서 수행하고 검사는 온라인(online)으로 수행하기 때문에 모델 구축단계에서는 충분한 시간을 가지고 모델 특징을 구축하는 것이 가능하다.

그림 5는 열쇠를 포함 하는 임의의 영상에 대해 모델을 구축한 예를 보여준다. 먼저 그림 5(a)는 캐니에지 추출기를 이용하여 얻은 에지의 결과영상을 보여준다. 비최대예지역제와 히스테리시스 이치화[6]를 동시에 수행한 결과이다. 열쇠 패턴은 기하학적 경계부분만을 남겨두게 된다. 히스테리시스 이치화는 잡영에 의한 에지는 제거하면서 물체부를 나타내는 보다 선명한 이치화 에지만을 추출하기 위해 도입된다.

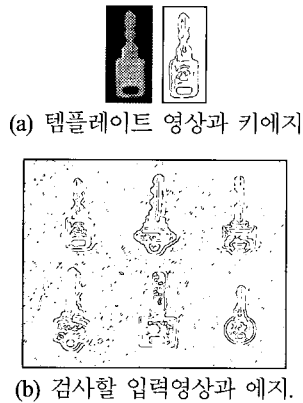


그림 5. 에지영상에 의한 템플레이트모델과 검사 샘플.
Fig. 5. Template and inspection sample images in edge data

그림 5(b)는 검사할 영상에서 추출된 에지영상을 보여준다. 원본영상에서 원본크기의 템플레이트를 탐색하는 것은 과도한 계산량을 유발하므로 본 논문에서는 고속탐색을 위해 피라미드 기법을 함께 도입한다. 템플레이트 에지벡터와 입력 영상은 원본 영상의 크기에 따라 적당한 단계를 가지는 피라미드 영상으로 재 구축된다. 키 점들은 모델 에지영상에 대해 (7)을 따라 1차원 벡터로 배열된다.

그림 5(a)의 템플레이트 영상과 여기서 추출된 에지 영상을 살펴보자. 기존의 NGC탐색에서 사용되는 모델 점의 수는 템플레이트를 구성하는 모든 화소가 사용되므로 $M \times N$ 개가 되지만, 점상관법에서는 원본 템플레이트에서 추출한 에지영상을 구성하는 경계 에지만이 키점들로 선택된다. 마찬가지로 탐색할 대상이 되는 검사 영상도 원본영상이 아니라 에지영상이 그 대상이 된다. 모델구축 시는 아래에 주어진 (1) 단계처럼 경계추적 등을 통해 잡영에지 등의 불필요한 부분을 제거시켜 키점들의 수를 최소화하는 것이 필요하다.

본 논문에서 제안한 에지를 이용하는 점상관 모델구축과 탐색의 단계는 아래처럼 수행된다.

- 템플레이트에서 추출된 영상 에지부는 경계추적(border tracking)을 통해 잡영에지를 제거하고 순서화된(indexed) 에지경계로 재 구축된다. 경계추적으로 순서화된 에지 정보로부터 에지길이가 짧은 경계는 잡영으로 처리되어 제거된다.
- 원본영상으로부터 피라미드의 상위부를 구축하기 위해 검사영상의 다운 샘플링을 통해 크기를 줄인다. 즉, 에지의 피라미드를 구축한다. 다운 샘플링은 기하학적 축소를 이용하거나 단순한 다운샘플링을 이용할 수 있다. 피라미드 구축에서 상위단계의 레벨을 몇 단계로 할 것인가는 입력된 원본 영상의 크기에 따라 조정한다. 회전과 크기변화를 수용하는 탐색을 수행하기 위해 템플레이트 벡터의 탐색공간은 평행이동 2자유도와 크기 및 회전공간 의 2자유도를 합쳐 4차 파라미터 공간으로 구축된다.
- 피라미드 최상위 단계에서 초기(coarse) 탐색을 수행한다.
- 상위단계 정합 위치 근방에서 피라미드 레벨을 내려와 더 큰 영상에서 다시 후속(fine) 정합을 수행한다. 이러

한 과정을 원본영상 단계에 도달할 때까지 반복한다. 점상관 탐색은 템플레이트 영상에서 키가 되는 점만을 선택하여 탐색하므로 시간 복잡도를 한차원 줄일 수 있다. 또한 정합은 이치화된 에지정보를 사용하기 때문에 NGC에서의 불균일한 밝기 변화에 대응할 수 있다. 피라미드 기법의 도입은 실시간의 고속 탐색을 위한 탐색구조를 제공한다. 본 논문에서는 피라미드 샘플링과 점상관 탐색을 결합하여 고속으로 회전과 크기 변화를 수용하는 패턴매칭을 제안하여 실험을 통해 신뢰성을 검증해 본다.

IV. 실험 결과

1. 에지정보를 이용하는 패턴의 정합

먼저 에지를 이용하는 NGC의 장점에 대해 살펴보자. 그림 6은 테스트를 위한 샘플의 한 예를 보여주고 있다. 검사할 물체는 자동화 라인상의 임의의 조명조건 하에서 관찰되기 때문에 가시화의 제어가 어려우며 주변물체의 반사 특성으로 인하여 검사패턴의 밝기값이 비선형적으로 변화하기 쉽다. 비선형 변환이란 밝기의 변화가 검사할 영역에서 일정하게 높아지거나 낮아지지 않고 부분적으로 불균일하게 변화하는 것을 가리킨다. NGC는 DC값만의 밝기 변화를 요구한다. 비선형 밝기 변형의 경우에는 NGC의 기본 가정을 위배하기 때문에 매칭이 실패할 가능성이 매우 커지게 된다.

밝기변화가 불균일 할 경우 영상의 에지는 매칭을 위한 유용한 특징이 된다. 영상의 에지는 밝기의 비선형적인 변형에도 불구하고 비교적 신뢰성 있게 밝기의 불연속이 발생하는 물체 경계부에 집중되어 추출될 수 있으며 NGC는 밝기정보 대신 에지정보를 사용하는 매칭으로 적용될 수 있다.

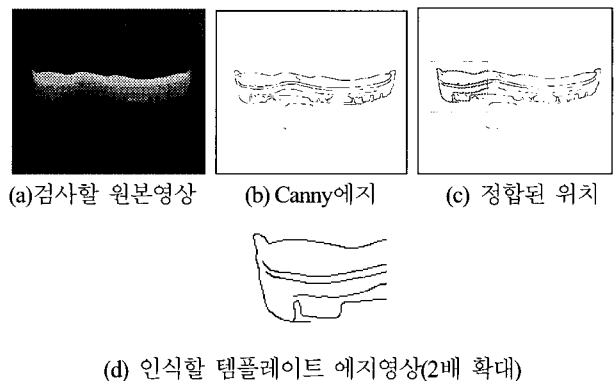


그림 6. 에지정보를 이용한 패턴 인식.
Fig. 6. Pattern matching from edge point correlation.

그림 6(b)는 원본 검사영상에서 추출한 에지영상을 나타내고 그림 6(d)는 그림 6(b)에서 찾아내려고 하는 모델영상을 보여준다. 그림 6(c)는 인식한 예를 보여준다. 에지를 이용하여 정합을 수행하여도 원본 영상을 이용하는 정합법과 유사하게 정합이 성공적으로 발생하고 있음을 알 수 있다. 에지는 물체 경계부에서 조명의 변화와 상관없이 추출되므로 동적으로 변화하는 환경에서는 이진화된 에지를 이용하는 패턴정합이 유용하게 사용될 수 있다. 그림 6에서 약 98%의 일치도를 가지고 모델 영상은 입력된 검사영상과 정합되었다.

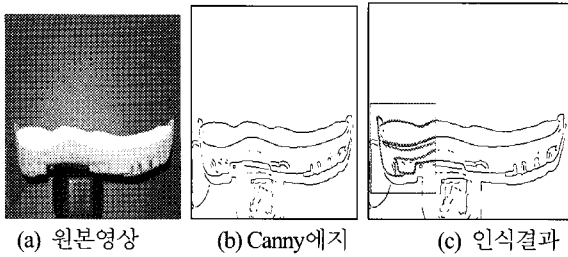


그림 7. 조명이 변화된 물체의 인식.

Fig. 7. Pattern matching in the changed intensity.

그림 7은 조명이 변화된 경우에 정합을 시도한 결과를 보여준다. 동일한 물체를 밝기가 불균일하게 밝아진 상태에서 다시 영상을 획득한 경우가 그림 7(a)이고, 7(b)는 7(a)의 Canny 에지 영상이다. 그림 7(c)는 그림 6(d)모델에지를 사용하여 정합을 수행한 결과를 보여준다. 기본적으로 밝기의 변화에 무관하게 에지는 일관적으로 추출이 되므로 유사한 결과가 나타나게 된다. 주어진 영상에서 기존의 NGC법을 사용하여 정합을 수행할 경우 조명의 변화로 매칭 실패가 발생하게 된다. 조명제어가 힘든 공장환경에서의 패턴 인식의 경우 에지를 사용하는 것이 유리할 수 있다는 결과를 보여준다.

에지를 사용하는 NGC법은 조명밝기의 변화에도 불구하고 밝기가 강하게 교차하는 에지부의 특성은 크게 변화하지 않는다는 사실을 이용하여 특정패턴을 좀더 신뢰성 있게 정합하기 위한 시도이다. 비교적 밝기의 변화와 무관하게 정합이 발생하고 있음을 알 수 있었다. 또한 이진화된 에지를 사용하는 매칭은 픽셀의 밝기값이 255인 에지부 만의 계산을 고려하므로 매칭의 시간 복잡도를 추가로 줄이는 것이 가능하다. 흑백영상의 연산에서 NGC계수치를 계산 시 필요했던 $\sum I, \sum I^2, \sum M$ 부분의 연산이 한번의 AND연산과 비교문으로 가능하므로 연산의 횟수를 줄여 시간복잡도를 개선하는 것이 가능하다.

2. 회전변환을 수용하는 고속 점상관

많은 검사공정에서 검사할 시편은 미리 설정된 모델 영상에 비교하여 수평자세로 입력되지 않는다. 즉, 검사할 영상에서 발견할 패턴들은 기준 패턴에 상대적인 회전이나 크기변화를 가지고 입력될 수 있다. 이러한 경우, NGC에 의한 템플레이트 정합은 회전과 크기변화를 수용할 수 있게 특별히 설계되지 않는다면 사용할 수 없게 된다. 회전이나 크기 변화가 없는 패턴 정합의 경우 통상적으로 NGC알고리즘은 +15° ~ -15° 사이의 회전과 +5 ~ -5%의 크기 변화를 수용할 수 있다고 알려져 있으나 검사패턴이 큰 각도로 돌아가 있거나 물체의 크기변화가 크다면 전통적인 NGC는 실패하게 된다. 본 논문에서 제안한 점상관 기법을 이용할 경우 NGC 탐색의 시간복잡도를 한 차원 줄일 수 있기 때문에 회전이나 크기변화를 수용하는 NGC탐색법을 설계할 수 있다. 또한, 피라미드 기법을 이용하여 샘플링된 작은 크기의 영상에서 초기 정합을 수행하고 더 큰 영상에서 후속탐색을 수행하는 coarse-to-fine 기법을 적용하기 때문에 상대적으로 고속의 NGC알고리즘을 설계하는 것이 가능하다. 최상위 피라미드레벨은 이를 지나치게 높일 경우 템플릿의 형상데이터가 손상되므로

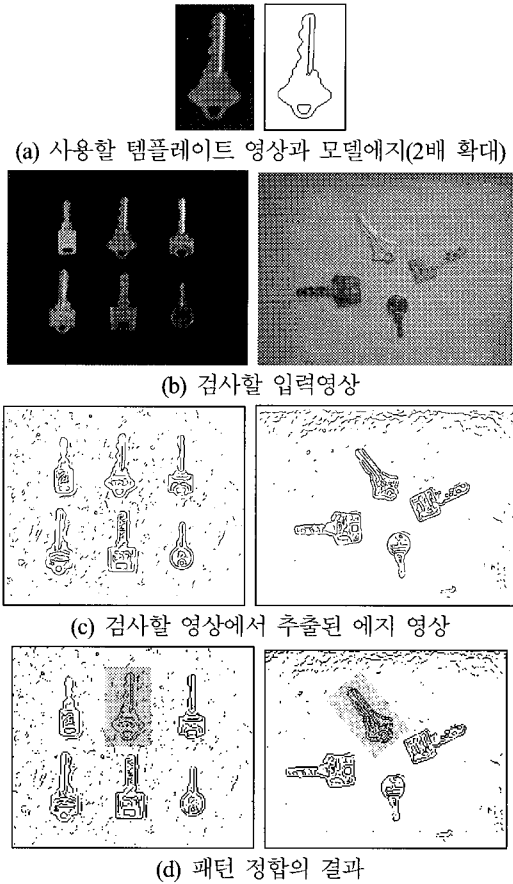


그림 8. 점상관법을 이용한 패턴 매칭.

Fig. 8. Pattern matching from point correlation.

템플릿 크기에 맞추어 레벨을 결정해 주어야 한다. 보통 최상위 레벨에서 템플릿의 한 번 크기가 32화소 이상정도 되도록 유지하는 것이 적당하다. 그림 7의 실험 결과는 제안된 점상관 기법을 이용하여 회전이 발생한 패턴을 검사하는 예를 보여준다.

그림 8(a)는 78x131크기의 모델영상과 여기서 추출된 템플레이트 에지를 보여준다. 그림 8(b)는 입력된 두개의 서로 다른 검사 영상으로 두 영상 모두 모델 형태의 열쇠패턴을 내부에 포함하고 있다. 그림 8(c)는 검사영상에서의 에지추출 결과로 점상관 알고리즘이 탐색할 입력영상이다. 그림 8(d)는 패턴매칭의 결과를 보여주고 있으며 발견된 모델영상의 위치가 영상내부에 겹쳐져 표시되어 있다. 수평, 수직 위치 뿐만 아니라 회전이 발생한 경우에도 에지기반 점상관 알고리즘은 성공적으로 물체의 위치와 각도를 발견할 수 있음을 보여준다. 두 영상은 각각 71%와 51%의 일치도를 가지고 정합되었으며 0°와 -40°도가 회전각도로 검출되었다. 탐색을 위해 필요한 시간은 640x480크기의 검사영상에서 Pentium III 600Mhz를 이용하면 약 0.7초가 소요된다. 이것은 수평, 수직 위치만 탐색하는 경우의 소모적 탐색 18초와 비교하여도 상당한 고속 패턴탐색이 발생하고 있음을 알 수 있다. 만일, 소모적 탐색이 회전검사를 수용할 경우 20° 단위로 0~360°까지를 탐색한다면 약 324초가 소요된다. 따라서, 제안된 점상관법은 소모적 탐색보다 약 450배 더 빠르게 동작한다.

그림 8(a)에서 사용한 키점의 수는 피라미드의 원본 영상에서 168점이고 피라미드의 최상위 레벨에서는 46점이 사용되었다. 키점들의 수를 줄여 나가면 좀 더 고속의 탐색이 가능하나, 지나치게 키점의 갯수가 적으면 잘못된 물체를 발견하는 경우가 생기게 되므로 모델의 키점 수를 적절한 수준으로 유지하는 것이 중요하다. 그림 8의 실험에서 볼 수 있는 것처럼 영상의 이진화된 에지를 패턴매칭 데이터로 사용할 경우 검사영상의 밝기변화에 대응할 수 있다. 실험에 사용된 두 영상의 밝기값은 불안정하게 달라졌지만 물체의 경계를 나타내는 에지는 두 경우 모두 신뢰성 있게 추출될 수 있고, 이러한 에지데이터의 이진화된 데이터는 밝기변화 영향을 상쇄할 수 있으므로 보다 일반적인 FA 환경에서 패턴 검사에 적용될 수 있다. 표 1은 정합결과와 요약을 보여준다.

표 1. 점상관 알고리즘의 탐색 결과.

Table 1. Results of Pattern Search for Point Correlation Algorithm.

| | 1 st test image | 2 nd test image |
|-----------|----------------------------|----------------------------|
| 모델과 일치도 | 71% | 51% |
| 수평 위치 | (48,94) | (54,87) |
| 각도(deg) | 0 | -40 |
| 처리시간(sec) | 0.7 | 0.7 |
| 모델 키점수 | 46 | 46 |

검사할 두 영상의 회전각이 다르지만 사용된 템플릿에서의 에지수는 동일하기 때문에 처리시간은 일정하게 나타난다. 처리시간의 차이는 주로 템플릿에서 사용된 에지점의 개수에 많이 의존한다.

V. 결론

보통 공장에서 머신비전을 사용하여 자동화시스템의 계측부를 구성하는 것은 크게 두 가지 분야의 작업을 필요로 한다. 먼저, 카메라와 물체, 물체와 작업Grip간의 상대적 위치와 표를 결정하기 위해 카메라 캘리브레이션을 수행하여야 한다. 두번째는 목표에 접근하기 위해 물체에 대한 계측을 수행하는 것이다. 머신비전으로 실제적인 작업을 수행하기 위해서는 고속 동작뿐만 아니라 제어기 힘든 동적인 환경에 적용하기 위해 조명변화에 강인한 패턴정합 알고리즘을 설계하여야 한다. 본 논문에서는 이진화된 에지를 사용하는 점상관 정합법을 제안하였다. 조명변화에도 불구하고 물체의 경

계를 나타내는 에지정보는 일관적으로 추출될 수 있다는 관찰에 기초한 에지기반의 점상관 알고리즘은 밝기가 변화된 영상에 대해서 신뢰성 있는 정합결과를 나타내었다.

본 논문에서는 템플레이트의 키 점을 선택하는데 있어 비 최대에지가 억제된 물체 경계 에지를 기반으로 에지의 경계 추적을 통해 배경에 존재하거나 짧은 크기의 에지들을 제거하여 잡영에 의한 키 점들을 걸러 내었다. 고속 동작을 가능하게 하기 위해서 점상관 알고리즘에 피라미드 기법을 결합시켜 실시간 검사에 보다 근접하는 속도로 패턴을 매칭할 수 있도록 하였다. 또한, 검사대상은 기준 모델의 템플레이트와 비교하여 회전이 발생할 수 있다는 가정 하에서 회전검사를 수용할 수 있도록 점상관 알고리즘을 개선시켰다. 회전이나 크기변화를 검사할 경우 탐색할 공간은 4차 공간이 되므로 대단히 큰 탐색 시간복잡도를 필요로 한다. 본 논문에서는 이진화된 에지 정보로부터 점상관을 이용하는 NGC의 개발로 조명의 영향을 상쇄시키고 처리속도를 향상시켰으며 실험을 통해 제안된 방법들의 신뢰성과 속도를 검증하였다.

참고문헌

- [1] S. Manickam, S. D. Roth, T. Bushman, "Intelligent and optimal normalized correlation for high-speed pattern matching," *Datacube Technical Paper*, Datacube Incorporation, 2000.
- [2] Searches, model, and model search parameters, *Matrox User Manual*, Matrox Incorporation, pp. 135-158, 1998.
- [3] W. Krattenthaler, K. J. Mayer, M. Zeiller, "POINT CORRELATION: A reduced-cost template matching technique," *IEEE Int. Conf. on Image Processing*, pp. 208-212, 1994.
- [4] A. Rosenfeld and A. C. Kak, "Digital picture processing," *Academic Press*, New York, 1976.
- [5] S. Levialdi, V. Cantoni(Eds.), "Pyramidal systems for image processing and computer vision," *Springer*, Berlin, 1986.
- [6] S. S. Gleason, M. A. Hunt, and W. B. Jatko, "Subpixel measurement of image features based on paraboloid surface fit," *SPIE V. 1386, Machine Vision Systems Integration in Industry*, 1990.
- [7] J. Canny, "A computational approach to edge detection," *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 8, no. 6, 1986.
- [8] D. J. Kang and I. S. Kweon, "An-edge based algorithm for discontinuity adaptive color image smoothing," *Pattern Recognition*, vol. 34, no. 2, pp. 333-342, 2001.



강 동 중

1988년 부산대학교 정밀공학과 졸업.
1990년 KAIST기계공학과 공학석사.
1998년 KAIST 자동화 및 설계공학과 공학박사. 1990~1993 현대전자 산전연구소 연구원. 1997~1999 삼성종합기술원

신호처리연구실 책임연구원. 2000년~현재 동명정보대학교 정보공학부 조교수. 관심분야는 컴퓨터비전, 지능제어, VR시스템개발.



노 태 정

1984년 부산대학교 기계설계과 졸업.
1986년 KAIST생산공학과 공학석사.
1992년 KAIST 정밀공학과 공학박사.
1986~1998 삼성중공업 기전연구소 수석연구원. 1999년~현재 동명정보대학교 정보공학부 조교수. 관심분야는 Mobile

로봇, 향만물류설비자동화, 반도체물류 자동화.