

# 전탐색 회피에 의한 고속 에지 기반 점 상관 알고리즘의 개발

강 동 중<sup>†</sup> · 김 문 조<sup>††</sup> · 김 민 성<sup>†††</sup> · 이 응 주<sup>†††</sup>

## 요 약

일반적인 공장환경에서 적용할 수 있는 비전 검사시스템의 개발을 위해서는 안정적이면서도 고속 패턴정합을 수행하는 알고리즘의 개발이 필요하다. 본 논문에서는 전탐색 회피기법을 이용하는 자동화용 패턴검사를 위한 에지 기반의 점상관 고속 알고리즘을 제안한다. 이 알고리즘은 탐색할 영상의 에지특성을 분석함에 의해 전탐색을 회피함으로써 탐색복잡도를 크게 개선한다. 농담정규화정합(NGC)법을 사용하는 통상적인 검사 알고리즘은 공장환경에 적용할 때 몇가지 문제점을 극복해야 한다. 첫 번째는 과도한 계산량으로 고속동작을 가능하게 하기 위해 특별한 알고리즘의 설계가 필요하며 고속 하드웨어의 사용을 요구한다. 두 번째는 불안정한 조명조건 하에서도 신뢰성 있는 검사결과를 주어야 한다는 것이다. 전통적인 NGC 알고리즘은 조명의 불안정에 따라 검사결과가 크게 변동하는 특성을 가지고 있다. 본 논문에서는 이러한 단점을 극복하기 위해 에지 기반의 점상관 알고리즘을 제안한다. 계산량을 개선하기 위해 전탐색 회피 알고리즘을 개발하여 적용하고, 에지 피라미드 구조를 탐색에 도입하여 실시간에 근접하는 시간 복잡도를 달성한다. 제안된 방법들은 실제 영상에 적용하여 신뢰성을 검증한다.

## Development of an Edge-based Point Correlation Algorithm Avoiding Full Point Search in Visual Inspection System

Dong-Joong Kang<sup>†</sup> · Mun-Jo Kim<sup>††</sup> · Min-Sung Kim<sup>†††</sup> · Eung-Joo Lee<sup>†††</sup>

### ABSTRACT

For visual inspection system in real industrial environment, it is one of most important tasks to design fast and stable pattern matching algorithm. This paper presents an edge-based point correlation algorithm avoiding full search in visual inspection system. Conventional algorithms based on NGC(normalized gray-level correlation) have to overcome some difficulties for applying to automated inspection system in factory environment. First of all, NGC algorithms need high time complexity and thus high performance hardware to satisfy real-time process. In addition, lighting condition in realistic factory environments is not stable and therefore intensity variation from uncontrolled lights gives many troubles for applying directly NGC as pattern matching algorithm. In this paper, we propose an algorithm to solve these problems from using thinned and binarized edge data and skipping full point search with edge-map analysis. A point correlation algorithm with the thinned edges is introduced with image pyramid technique to reduce the time complexity. Matching edges instead of using original gray-level pixel data overcomes NGC problems and pyramid of edges also provides fast and stable processing. All proposed methods are proved from experiments using real images.

키워드 : 부품 검사(Visual Inspection), 농담정규화상관(NGC), 점상관(Point Correlation), 에지(Edges), 전탐색 회피(Skipping Full Search,) 영상 피라미드(Image Pyramid)

### 1. 서 론

산업구조가 고도화되면서 생산라인에서 전통적으로 사람이 직접 수행하던 검사나 불량품 판별 등에 대한 자동검사 요구가 점차 증가하고 있다. 자동화를 위한 하드웨어 장비의 고기능화, 저가격화에 힘입어 각종 센서나 영상처리에 의한 자동검사가 인력에 의한 검사공정을 빠르게 대체하고

있는 추세이다. 본 논문에서는 전탐색 회피기법을 이용하여 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 Correl-

\* 본 연구는 산업자원부의 지역혁신 인력양성사업의 연구결과로 수행되었음.

† 정 회 원 : 동명정보대학교 메카트로닉스공학과 교수

†† 준 회 원 : 한국정보통신대학원대학교 공학부

††† 정 회 원 : 동명정보대학교 정보통신공학과 교수

논문접수 : 2003년 2월 7일, 심사완료 : 2004년 2월 18일

ation : NGC)을 기반으로 많은 분야에서 사용되고 있다. 현재 국내외에서 경제적으로 관련 알고리즘의 개발과 상용화가 이루어지고 있으며 다양한 분야에서 생산 및 검사 공정에 적용하기 위한 시도가 행해지고 있다[1, 2]. 본 논문에서는 NGC의 개발과 더불어 조명의 영향을 상쇄시키고 처리속도를 향상시키기 위해 전탐색 회피와 에지처리에 기반을 두고 있는 점 상관(point correlation) 알고리즘을 제안한다.

점상관 알고리즘은 1994년 Krattenthaler가 제안한 방법으로 기존의 NGC 알고리즘이 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[4]를 구축하여 사용하는 것이 일반적이나 흑백명암 데이터를 사용하여 영상피라미드를 구축하면 원본 영상에서 물체경계의 밝기변화가 선명하지 않은 경우, 피라미드의 상위레벨에서 물체경계정보가 사라져 버리는 특성이 자주 나타난다. 예를 들면, 동전의 내부 패턴을 인식하려 할 때, 원본 영상에서도 동전내부 패턴의 경계는 뚜렷하지 않으므로 피라미드 상위레벨에서 동전내부 패턴은 거의 나타나지 않는다. 또한 NGC 알고리즘은 검사할 영상이 동적으로 변화하는 조명조건 하에 놓여질 때, 밝기값의 변이에 따라 패턴매칭의 결과가 불안정해지는 특징을 가진다. 이러한 단점들을 해결하기 위해 본 논문에서는 영상의 이진화된 에지를 사용하는 점상관 알고리즘을 제안한다. 이진화된 에지정보는 피라미드의 상위레벨에서도 그 정보를 그대로 유지할 수 있기 때문에 세밀한 물체내부의 패턴을 피라미드 상위레벨에서 그대로 유지하는 것이 가능하다. 모델 구축은 오프라인상에서 구축되기 때문에 모델 작성단계에서는 에지의 경계추적 등을 적용하여 잡영에지의 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.

본 논문에서 목표로 하는 회전과 크기변화를 수용하는 점상관 탐색 알고리즘은 필연적으로 대단히 큰 탐색공간을 유발하며, 생산라인에 실제 적용 가능한 실용적인 패턴 정합기를 만들기 위해서는 고속동작이 가능한 점상관 탐색기

를 개발하여야 한다. 본 논문에서는 템플레이트 영상이 목표패턴을 찾기 위해 입력된 영상 전체를 탐색하는 대신 에지의 집적도가 높은 특별한 영상영역만을 선별하여 탐색하므로써 계산속도를 대폭 향상시키기 위한 전탐색 회피 방법을 제안한다. 전탐색 회피법은 에지의 피라미드와 결합하여 실시간에 근접하는 속도로 패턴을 매칭할 수 있다. 제안된 전탐색 회피 알고리즘과 에지피라미드를 결합하여 기존의 NGC법의 문제점인 회전 및 크기변화에 대한 검사를 수용하면서도 고속으로 동작 가능한 핵심 머신비전 알고리즘을 개발하고 개발방법의 이론적 연구결과 및 실험을 통한 검증으로 에지 기반 점상관이론의 실제 적용가능성을 제안한다.

## 2. 패턴정합 알고리즘

전통적으로 비전 시스템들은 관심 있는 패턴들을 검사영상에서 찾기 위해 정규화 상관법(normalized correlation)을 사용해 왔다. 기준 패턴(reference pattern)에 상대적인 비교 대상으로 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 사용되고 있으며, 농담 정규화 상관(Normalized Gray-scale Correlation : NGC)에 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 이동되면서 서로 겹쳐진 검사 영상의 값들에 대해 서로 대응되는 픽셀의 값을 곱하고 이 값들을 저장한다. 보통의 영상은 밝기에 대한 변이(intensity variations)가 존재하므로 밝기값의 평균크기 성분이 상쇄되도록 정규화 시킨 정합법이 농담 정규화 매칭법이다[4, 5].

### 2.1 농담정규화(NGC) 매칭법

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. NGC 계수치를 계산하기 위한 식은 다음과 같이 식 (1)로 주어진다. 픽셀 인덱스(index)에 대한 첨자는 생략하였다.

$$c = \frac{\sum \mathbf{I} \cdot \mathbf{t}}{\sqrt{\sum \mathbf{I}^2 \sum \mathbf{t}^2}} \quad (1)$$

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

$$\begin{aligned} I(x, y) &= f_1(x, y) - m_1 \\ t(x, y) &= f_2(x, y) - m_2 \end{aligned} \quad (2)$$

여기서  $m_1$ 는  $f_1(x, y)$  영상에서 밝기 값의 평균이고,  $t$ 는  $I$  처럼  $f_2(x, y)$  영상에서 밝기 평균을 뺀 값을 나타낸다. 또 다른 표현으로는 식 (3)과 같은 NGC식이 있다. 이 식에서  $N$ 은 모델영상의 픽셀 수이다. 마찬가지로 침자는 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  $\Sigma I$ ,  $\Sigma I^2$ ,  $\Sigma IM$ 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.

$$c = \frac{N \Sigma IM - (\Sigma I) \Sigma M}{\sqrt{[N \Sigma I^2 - (\Sigma I)^2][N \Sigma M^2 - (\Sigma M)^2]}} \quad (3)$$

$$Score = [\max(c, 0)]^2 \quad (4)$$

실제 검사 시, 음수 계수치는 관심의 대상이 아니므로 배제 시킨다. 수식에 들어 있는 제곱근(root square) 연산은 계산량을 상당히 증가 시키므로 이 값을 배제하기 위해  $c$  값을 제공해 준다. 따라서 최종적인 정합의 계수치는 식 (4)과 같은 형태가 된다.

### 3. 점상관 알고리즘

입력 영상(scenes)에서 기준 템플레이트(reference template)와 유사한 패턴의 발견은 정규화 계수 곡면의 최대 또는 최소값과 같은 극값(extremum)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 기연급한 영상 피라미드를 사용하는 것이다. 다른 방법들은 부분 템플레이트를 사용하는 것이 있다. 초기 탐색에서는 템플레이트를 샘플링(sampling)하여 몇 개의 점만을 사용하

여 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 또는 영상피라미드와 결합되어 사용될 수 있다[3].

(그림 1)은 점상관법을 이용하는 패턴 검사를 위해 모델 영상에서 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.

#### 3.1 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.

$$\sum_{x,y} \equiv \sum_{x=1}^{X_1} \sum_{y=1}^{Y_1} \quad (5)$$

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 주어진다

$$\sum_{x,y} \equiv \sum_{(x,y) \in P} \quad (6)$$

이다.  $K$ 는 템플레이트 내에 존재하는 전체 점의 수에 비교하여 훨씬 작은 수이기 때문에 이것은 계산량의 큰 감소로 나타난다. 즉, 복잡도를  $O(n^4)$ 에서  $O(n^3)$ 으로 하나 끌어 내리는 것이 가능하다.

점 상관법의 계산을 위해 템플레이트 내부에 있는 점들을 단순히 임의적(random)으로 선택하는 것 대신에 상관결과에 더 큰 영향을 미칠 수 있는 점들을 선택하는 것이 중요하다. 예를 들면 코너(image corners)나 에지(edges)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 최대크기에지법

템플레이트 영상에 존재하는 픽셀들이 동일한 중요도로 NGC에 기여하지 않는다면 각각의 구성픽셀들은 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 만나면 모서리인 코너 또한 기하학적 패턴을 결정하는 중요 요소가 될 것이다. 본 논문에서는 캐니(Canny)에지를 이용하여 패턴의 기하학적 특성을 추출한다[6]. 캐니에지는 1차원 미분에지 추출기이므로 추출된 에지의 폭이 넓게 분포하는 특징이 있다[7]. 이러한 특징을 상쇄시키기 위해 에지부의 최대크기만 남겨놓고 나머지 부분을 제거 시키는 비최대에지 억제(non-maximum suppression) 알고리즘을 함께 수행한다. 모델 영상의 구축은 오프라인(offline)상에서 수행하고 검사는 온라인(online)으로 수행하기 때문에 모델 구축단계에서는 충분한 시간을 가지고 모델 특징을 구축하는 것이 가능하다.

(그림 3)은 열쇠를 포함 하는 임의의 영상에 대해 모델을 구축한 예를 보여준다. 먼저 (그림 3)(a)는 캐니에지 추출기를 이용하여 얻은 에지의 결과영상을 보여준다. 비최대에지 억제와 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 2)(b)는 검사할 영상에서 추출된 에지영상을 보여준다. 원본영상에서 원본크기의 템플레이트를 탐색하는 것은 과도한 계산량을 유발하므로 본 논문에서는 고속탐색을 위해 피라미드 기법을 함께 도입한다. 템플레이트 에지벡터

와 입력영상은 원본 영상의 크기에 따라 적당한 단계를 가지는 피라미드 영상으로 재 구축된다. 키 점들은 모델 에지 영상에 대해 식 (5)를 따라 1차원 벡터로 배열된다.

(그림 2)(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 키 점들로 선택된다. 마찬가지로 탐색할 대상이 되는 검사 영상도 원본(gray) 영상이 아니라 에지 영상이 그 대상이 된다. 모델을 구축할 때는 오프라인상에서 구축되므로 충분한 시간을 가지고 패턴을 효과적으로 묘사하는 정밀한 모델을 구축하는 것이 가능하다. 모델구축 시는 아래에 주어진 ①단계처럼 경계추적 등을 통해 잡영에지 등의 불필요한 부분을 제거시켜 키 점들의 수를 최소화하는 것이 필요하다.

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

- ① 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.

- ② 원본영상으로부터 피라미드의 상위부를 구축하기 위해 검사영상을 다운 샘플링을 통해 크기를 줄인다. 에지의 피라미드 구축 시 원 영상의 에지를 구한 후 원 영상의 에지를 기반으로 하여 다운 샘플링을 통해 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 회전공간의 2자유도를 합쳐 4차 파라미터 공간으로 구축된다.
- ③ 피라미드 최상위 단계에서 초기(coarse) 탐색을 수행한다.
- ④ 상위단계 정합 위치 근방에서 피라미드 레벨을 내려와 더 큰 영상에서 다시 후속(fine) 정합을 수행한다. 이러한 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 에지를 이용하는 피라미드 샘플링과 점

상관 탐색을 결합하여 고속으로 회전과 크기 변화를 수용하는 패턴매칭을 제안하여 실험을 통해 신뢰성을 검증해 본다. (그림 3)은 핸드폰이 있는 실험영상에 대해 에지의 피라미드를 구축한 예를 보여준다.

### 3.3 전탐색 회피

(그림 4)는 모양이 서로 다른 몇 개의 열쇠를 포함하는 영상이다. 이 영상에 대해 에지를 추출한 결과가 (그림 4) (b)에 나타나 있다. (그림 1)에서처럼 관심 패턴을 가지는 열쇠를 템플레이트 영상으로 삼아 입력영상을 탐색한다고 가정하자. 템플레이트 영상은 원본영상으로부터 추출된 에지영상을 사용한다. 따라서, 템플레이트 에지를 가지고 (그림 4)(b)에 주어진 에지영상을 탐색하는 것이 된다. 영상의 에지는 물체의 경계나 밝기의 변화가 급격하게 변화하는 부분에서 주로 추출된다. 영상이 어떤 물체를 포함하던지 간에 물체가 존재하는 부분에서 에지는 주로 추출될 것이다. (그림 4)(b)의 상부에서 영상잡음 때문에 배경에 부분적으로 에지가 추출되나 이것보다는 실제 열쇠가 놓여있는 부분에서 더 강한 에지가 추출되게 된다. 즉, 에지는 물체의 존재에 대한 실마리가 된다. 물체가 놓여있지 않은 대부분의 배경 영역은 에지가 추출되지 않거나 잡음에 의한 몇 개의 에지점이나 짧은 크기의 에지가 놓여있을 뿐이다. 따라서, 템플레이트 에지를 가지고 검사할 영상의 에지와 정합을 시도할 때, 에지가 없는 배경부는 정합할 필요가 없어지게 된다. 소모적 탐색은 많은 탐색시간을 요구하므로 입력영상의 에지 분포를 분석함에 의해 에지가 없는 배경 같은 부분을 탐색에서 미리 배제시킨다면 패턴정합의 속도를 개선하는 것이 가능할 것이다.

(그림 5)는 에지의 집적도를 검사하는 에지분포 추출 방법을 보여준다. 영상의 특정위치에서 에지가 얼마나 존재하는지를 검사하기 위해서는 템플레이트가 겹쳐진 에지 영상 부분에서 에지점의 개수가 몇 개인지 계산하여야 한다. 먼저 템플레이트 크기만큼의 영역을 에지영상의 왼쪽 위 위치의 스캔 시작점에서 겹쳐놓고 겹쳐진 부분의 에지점 개수를 먼저 센다. 다음으로 한 픽셀 오른쪽으로 템플레이트

를 이동한 후 반복하여 겹쳐진 영역에 포함된 에지크기를 세게되고 이러한 과정을 오른쪽 아래의 영상 끝위치에 도달할 때까지 반복한다. 이러한 과정을 거쳐 탐색할 영상의 모든 부분에서 에지의 개수를 계산한다면 탐색영상의 에지점 분포를 얻는 것이 가능하다. 그러나, 에지점 수를 세기 위한 계산시간은 크게 증가하게 되고 이러한 계산량이 실제 수행할 패턴정합 시간을 오히려 초과하는 경우가 발생할 수 있다. 과도한 계산량을 회피하기 위해 본 논문에서는 아래의 에지점 계산 알고리즘을 제안한다.

- ① 스캔라인의 첫 번째 점에서 템플레이트 크기만큼의 내부에 포함된 탐색영상 에지점 수를 모두 계산한다.
- ② (그림 5)에서 보여진 바와 같이 탐색영상의 동일 스캔라인의 바로 다음 점에 대해 에지점 수를 계산할 때, 템플레이트를 스캔라인에서 오른쪽으로 한 픽셀만큼 이동한다면 새롭게 추가되는 에지점들은 (그림 5)의 진입 영역(adding region) B에 존재하는 에지점들이다. 따라서, 바로 앞의 위치에서 계산된 에지점의 수에서 새롭게 추가된 영역 B에 존재하는 에지점 만큼 빼어 합해주면 된다.
- ③ 추가영역의 에지점 수를 합한 다음, 템플레이트의 이동으로 감소된 영역(subtracting region) A에 존재하는 에지점의 수를 계산한다. 계산된 에지점의 수를 ②단계에서의 결과점 수에서 빼준다. 다음 스캔라인까지 단계 ②와 단계 ③을 반복해 준다.

이러한 연산과정을 통해 에지점의 수를 계산하면 템플레이트 전체영역에 걸쳐 에지점의 수를 세는 것에 비교하여 계산복잡도가 에서 으로 한단계 줄게되므로 훨씬 고속으로 탐색영상의 에지점 수를 세는 것이 가능하게 된다. 일단 탐색영상의 에지점 수를 미리 계산해 놓는다면 탐색 시에는 에지점의 수가 작은 영역은 물체가 존재할 가능성이 낮은 영역이므로 탐색에서 배제 시키게 되고 이것은 점성판 알고리즘의 계산속도의 증가로 나타난다.

템플레이트 영역의 크기는 회전탐색을 고려하여 템플레이트 중심점에서 템플레이트 에지점 사이의 최장거리를 구해 템플레이트 영역의 **MBR**(minimum boundary ratio)로 사용한다.

#### 4. 실험 결과

##### 4.1 에지정보를 이용하는 패턴의 정합

먼저 에지를 이용하는 **NGC**의 장점에 대해 살펴보자. (그림 6)은 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. **NGC**는 **DC**값만의 밝기 변화를 요구한다. 비선형 밝기 변형의 경우에는 **NGC**의 기본가정을 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 **NGC**는 밝기(gray)정보대신 에지정보를 사용하는 매칭으로 적용될 수 있다.

(그림 6)은 원본 템플레이트 영상의 한 예와 여기서 추출한 에지영상을 보여주고 있다. 에지는 영상의 밝기변화에 무관하게 비교적 일관적(consistent)으로 추출된다.

(그림 7)은 조명이 변화된 경우에 정합(matching)을 시도한 결과를 보여준다. 템플레이트를 만들었던 동일한 물체를 밝기가 불균일하게 밝아진 상태에서 다시 영상을 획득한 경우가 (그림 7)(a)이고, (그림 7)(b)는 (그림 7)(a)의 Canny 에지 영상이다. (그림 7)(c)는 (그림 6)(b)의 모델에지를 사용하여 정합을 수행한 결과를 보여준다. 밝기의 변화에 무관하게 에지는 물체경계에서 일관적으로 추출이 되므로 정

합의 결과도 일관적으로 나타나게 된다. 조명제어가 힘든 공장환경에서의 패턴 인식의 경우, 에지를 사용하는 것이 유리할 수 있다는 결과를 (그림 6)은 보여준다. 약 95%의 일치도를 가지고 모델에지는 검사영상의 에지에 정합되었다.

시간복잡도를 개선시키는 효과를 나타낸다. 에지맵을 계산하는 시간은 주어진 두 영상에 대해 **Pentium-III 600Mhz**에서 각각 0.1초 이하로 초당 십수 프레임의 에지맵을 처리할 수 있다. 본 논문에서 제안된 계산방법을 사용하지 않고 에지맵을 계산할 경우 동일한 컴퓨터에서 약 4초 내외로 상당한 시간이 소요됨을 실험을 통해 확인할 수 있었다.

주어진 두 영상의 에지맵을 보면, 자동화 검사 라인에서 좀더 고속의 영상처리를 필요로 한다면 배경부분에 에지가 작게 존재하도록 영상의 복잡도를 줄이는 노력이 필요하다. 배경에 존재하는 물체가 많거나 배경이 잡영에지로 복잡해

에지를 사용하는 **NGC**법은 조명밝기의 변화에도 불구하고 밝기가 강하게 교차하는 에지부의 특성은 크게 변화하지 않는다는 사실을 이용하여 특정패턴을 좀더 신뢰성 있게 정합하기 위한 시도이다. 또한 이진화된 에지를 사용하는 매칭은 픽셀의 밝기값이 255인 에지부 만의 계산을 고려하므로 매칭의 시간 복잡도를 추가로 줄이는 것이 가능하다. 흑백영상의 연산에서 **NGC** 계수치를 계산할 때 필요했던  $\sum I$ ,  $\sum I^2$ ,  $\sum IM$  부분의 연산이 한번의 **AND** 연산과 비교문으로 가능하므로 연산의 횟수를 줄여 시간복잡도를 개선하는 것이 가능하다.

#### 4.2 전탐색 회피

(그림 8)은 전탐색 회피를 위한 에지맵 분석의 결과를 보여준다. 두개의  $640 \times 480$ 픽셀 크기의 검사할 영상에 대해 3.3장에서 제시한 에지맵 분석법을 이용한 결과를 나타내었다. (그림 8)(c)를 보면 에지의 집적도가 높은 물체가 존재하는 부분은 비교적 밝은 크기로 에지의 집적도가 높게 나타나 있고, 물체가 존재하지 않는 배경부분에서는 에지의 집적도가 낮기 때문에 어두운 밝기로 나타나고 있다. 이러한 에지맵을 이용하여 템플레이트 탐색 시에는 에지의 집적도가 낮은 배경부분은 물체가 존재할 가능성이 희박하기 때문에 탐색에서 회피하게 되고 결국 전탐색에 소요되는

저 갈수록 탐색 회피점의 수는 줄어들게 되고 이것은 탐색의 시간 복잡도를 높이는 결과로 나타난다. (그림 8)에서 첫 번째 실험 영상의 경우 22.8%의 탐색 회피점이 존재하였으며, 두 번째 실험 영상의 경우 44.5%의 탐색 회피점이 나타났다. 즉 배경이 복잡해 질수록 배경에 존재하는 에지점의 수가 늘어나고, 탐색 회피점이 줄어드는 결과가 나타난다.

#### 4.3 회전변환을 수용하는 고속 점상관

많은 검사공정에서 검사할 시편은 미리 설정된 모델 영상에 비교하여 평행한 자세로 입력되지 않는다. 즉, 검사할 영상에서 발견할 패턴들은 기준 패턴에 상대적인 회전이나 크기변화를 가지고 입력된다. 이러한 경우, NGC에 의한 템플레이트 정합은 회전과 크기변화를 수용할 수 있게 특별히 설계되지 않는다면 사용할 수 없게 된다. 회전이나 크기변화가 없는 패턴 정합의 경우 통상적으로 NGC 알고리즘은  $+15^{\circ} \sim -15^{\circ}$  사이의 회전과  $+5 \sim -5\%$ 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 NGC 탐색법을 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 고속 에지 기반의 NGC 알고리즘을 설계하는 것이 가능하다.

회전이 발생한 패턴을 검사하는 예를 보여준다. (그림 9)(a)는  $78 \times 131$  크기의 모델영상과 여기서 추출된 템플레이트 에지를 보여준다. (그림 9)(b)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  $0^{\circ}$ 와  $40^{\circ}$ 도가 회전각도로 검출되었다. 탐색을 위해 필요한 시간은 Pentium III 600Mhz에서 약 0.7초 내외가 소요되었으며 이것은 수평, 수직위치만 탐색하는 경우의 소모적 탐색 18초와 비교하여도 상당한 고속 패턴탐색이 발생하고 있음을 알 수 있다. 만일, 소모적 탐색이 회전검사를 수용할 경우  $20^{\circ}$  단위로  $0 \sim 360^{\circ}$ 까지를 탐색한다면 약 324초가 소요된다. 따라서, 제안된 점상관법은 소모적 탐색보다 약 450배 더 빠르게 동작한다.

(그림 9)(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 적어지면 잘못된 물체를 발견하는 경우가 생기게 되므로 모델의 키점 수를 적절한 수준으로 유지하는 것이 중요하다. (그림 9)의 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 패턴검사에 적용될 수 있다. <표 1>은 정합 결과의 요약을 보여준다. 동일한 크기의 영상에 대해 처리 시간이 차이가 나는 것은 영상내부에 존재하는 에지의 복잡도가 다르기 때문이다. 배경에 존재하는 에지를 줄이는 것이 정합의 정확도 뿐만 아니라 탐색시간의 절약을 위해서도 고려해야 하는 부분이다. (그림 10)은 회전각도가 다른 두 IC칩의 위치와 각도를 탐색하여 모델 템플릿을 검사 영상에 겹쳐 표시한 예를 보여주고 있다. 에지 경계부가 정확하게 원본 영상의 글자 등의 에지발생부에 겹쳐 나타나 있다.

(그림 9)의 실험 결과는 제안된 점상관 기법을 이용하여



제된 물체 경계 에지로 사용하고 또한 에지의 경계추적을 통해 배경에 존재하거나 작은 크기의 에지들을 제거하여 잡영에 의한 키 점들을 최대한 걸러 내었다. 고속 동작을 가능하게 하기 위해서 점상관 알고리즘은 피라미드 기법과 결합시켜 실시간 검사에 보다 근접하는 속도로 패턴을 매칭할 수 있도록 하였다. 검사대상은 기준 모델의 템플레이트와 비교하여 회전이 발생할 수 있다는 가정 하에서 회전 검사를 수용할 수 있도록 점상관 알고리즘을 개선시켰으며 제안된 방법들은 실험을 통해 신뢰성과 속도를 검증하였다.

**참 고 문 헌**

- [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. 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.
- [6] J. Canny, "A Computational approach to edge detection," IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol.8, No.6, 1986.
- [7] 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.

**5. 결 론**

보통 공장에서 머신비전을 사용하여 자동화시스템의 계측부를 구성하는 것은 크게 두 가지 분야의 작업을 필요로 한다. 먼저, 카메라와 물체, 물체와 작업 Grip간의 상대적 위치좌표를 결정하기 위해 카메라 캘리브레이션을 수행하여야 한다. 두 번째는 목표에 접근하기 위해 물체에 대한 계측을 수행하는 것이다. 머신비전으로 실제적인 작업을 수행하기 위해서는 고속 동작이 가능하며 제어가 힘든 동적인 환경에 적용하기 위해 조명변화에 강인한 패턴정합 알고리즘을 설계하여야 한다. 본 논문에서는 이진화된 에지를 사용하는 점상관 정합법과 이 알고리즘의 실제 적용을 위한 고속화 기법을 제안하였다. 조명변화에도 불구하고 물체의 경계를 나타내는 에지정보는 일관적으로 추출될 수 있다는 관찰에 기초한 에지 기반의 점상관 알고리즘은 밝기가 변화된 영상에 대해서 신뢰성 있는 정합결과를 나타내었다. 또한, 정합 알고리즘의 과도한 계산량을 줄이기 위한 에지맵 분석을 통한 전탐색 회피 알고리즘은 탐색 필요가 없는 배경부분의 탐색을 미리 배제시킴으로써 상당한 계산량의 개선을 얻을 수 있었다.

본 논문에서는 템플레이트의 키 점을 비최대 에지가 억

**강 동 중**

e-mail : dj kang@tit.ac.kr  
 1988년 부산대학교 정밀공학과 졸업  
 1990년 KAIST 기계공학과 공학석사  
 1998년 KAIST 자동화 및 설계공학과 공학박사  
 1990년~1992년 현대전자 산전연구소 주임연구원  
 1997년~1999년 삼성종합기술원 멀티미디어연구실 책임연구원  
 2000년~현재 동명정보대학교 메카트로닉스공학과 조교수  
 관심분야 : 컴퓨터비전, 지능형 메카트로닉스, VR/AR시스템개발, 지능형 사용자 인터페이스(Intelligent User Interface)

### 김 문 조

e-mail : kmjallseven@hanmail.net  
2004년 동명정보대학교 로봇시스템공학과  
졸업  
2004년~현재 한국정보통신 대학원대학교  
(ICU) 공학부 석사과정 재학중  
관심분야 : 머신러닝(Machine Learning),  
영상처리, 패턴인식

### 김 민 성

e-mail : minsung@tit.ac.kr  
1987년 동아대학교 금속공학과 졸업  
1993년 Waseda대 이공학부 석사  
1997년 동경공업대학 광디바이스 박사  
1993년~1999년 동경일렉트론, 현대전자,  
삼성전자 연구원, 책임연구원  
2000년~현재 동명정보대학교 정보통신공학과 조교수  
관심분야 : 광조명, 광학, 광통신

### 이 응 주

e-mail : ejlee@tit.ac.kr  
1992년 경북대학교 전자공학과 공학석사  
1996년 경북대학교 전자공학과 공학박사  
1992년 국방과학연구소 품관소 연구원  
2000년 디지털넷뱅크 대표이사  
2004년~현재 한국화상학회 이사,  
동명정보대 정보통신학과 부교수  
관심분야 : 영상처리, 컴퓨터비전, 생체인식