

# 영상 피라미드 탐색의 국부 최대값을 이용한 고속 패턴 정합 알고리즘의 개발

강동중, 김문조\*, 유동훈, 노태정  
동명정보대학교 정보공학부

## Development of a Pattern Matching Algorithm using the Local-Maximum of Image Pyramidal Search

Dong-Joong Kang, Mun-Jo Kim\*, Dong-hun Ryu, Tae-Jung Lho  
School of Information Engineering, Tongmyong University of Information Technology

### 요 약

공장 현장에서 적용할 수 있는 산업용 비전 검사시스템의 개발을 위해서는 안정적이면서도 고속 패턴 정합이 가능한 알고리즘의 개발이 요구된다. 기존의 농담정규화상관(NGC)법을 사용하는 알고리즘은 과도한 계산량과 조명의 불안정에 영향을 많이 받는 문제점이 있다. 본 논문에서는 영상 피라미드와 물체경계의 에지점들을 이용하여 기존 NGC 알고리즘의 단점을 보완하고 고속 패턴정합을 수행하는 에지기반 점상관 알고리즘을 제안하고 이를 실제 영상에 적용하여 그 신뢰성을 검증한다.

### 1. 서론

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 산업현장에서 생산 및 검사 자동화 공정에 적용 가능한 피라미드 기법을 이용한 패턴 정합의 이론 정립을 목표로 한다<sup>1)</sup>. 머신비전 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 검사 공정의 대부분이 농담정규화상관법(Normal Grayscale Correlation: NGC)을 사용하고 있다. 기존의 NGC 알고리즘은 템플레이트 영상을 구성하는 모든 점을 패턴매칭에 사용한다. 이러한 방법은 과도한 계산량을 유발하고 실용적인 고속 상관법의 개발을 어렵게 하는 중요한 원

인이었다.

이러한 문제점을 개선하기 위한 가장 일반적인 방법이 영상 피라미드를 구축하여 사용하는 것이었다<sup>[1]</sup>. 그러나 영상의 크기를 줄임으로 인하여 중요한 특징점들이 줄어드는 피라미드 상위 이미지에서 사라지는 경우가 나타난다. 본 논문에서는, 이것을 회피하기 위하여 에지정보에 기반하는 점상관(point correlation) 기법과 상관 계수치의 국부 최대값(local maximum)의 후보 위치를 피라미드 레벨에서 유지함에 의해 신뢰성을 제고하는 방법을 제안하였다.

### 2. 패턴 매칭 알고리즘

전통적으로 비전 시스템들은 관심 있는 패턴들을 검사영상에서 찾기 위해 정규화 매칭법(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 사용되고 있으며, 농담 정규화 상관법(Normalized Gray-scale Correlation : NGC)에 기반하는 방법이 주로 채택되어 FA 산업이나 유관 연구분야에서 사용되어 왔다. NGC는 미리 정해진 기준 패턴을 검사할 영상내부에

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

서 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 변이(intensity variations)가 존재하므로 밝기값의 평균크기 성분이 상쇄되도록 정규화 시킨 정합법이 농담 정규화 매칭법이다 [2-3].

2.1 농담 정규화(NGC) 매칭법

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

$$c = \frac{\sum I \cdot t}{\sqrt{\sum I^2 \sum t^2}} \tag{1}$$

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

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

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 (3)식과 같은 NGC식이 있다. 이 식에서  $N$ 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.

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

(3)

$$\text{Score} = [\max(c,0)]^2 \tag{4}$$

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 제곱해 준다. 따라서 최종적인 정합의 계수치는 (4)과 같은 형태가 된다.

3. 국부 최대값을 이용한 패턴 매칭

NGC 알고리즘은 4차의 시간 복잡도를 가지고 있다. NGC 알고리즘의 단점 중의 하나인 속도 개선을 위하여 영상 피라미드를 구축한다. 영상 피라미드를 구축하면 속도 개선에서 큰효과를 볼 수 있지만, 정확성이 떨어지는 경향이 나타난다. 피라미드를 구축하는 동안 중요한 포인터들이 사라지기 때문이다. 결과 값들상의 관계를 이용하여 국부 최대 값을 이용하면 정확한 결과 값과 개선된 속도를 낼 수 있었다. 이것은 영상 피라미드의 최상위 계층에서 최적 정합해가 원본영상에서 최적 정합해가 된다는 보장을 할 수 없다는 것을 의미한다. 따라서, 최상위 피라미드 계층에서 국부 최적위치를 동시에 유지해야 할 필요성이 나타나게 된다.

3.1 영상피라미드의 구축과 국부 최대 값

영상 피라미드를 구축하기 위해서는 하나의 레벨이 상승 할 때 마다 1/4 만큼 영상의 크기가 줄어 든다. 만약에 입력 영상 이미지가  $640 \times 480$  이라면 첫 번째 레벨에서의 영상의 크기는  $320 \times 240$ 이 되고 두 번째 레벨에서는  $160 \times 120$ 이 되고 마지막 레벨에서는  $80 \times 60$  이라는 입력 영상의 크기를 가지고 있다. 템플레이트 영상도 이와 같은 크기의 이미지로 줄어 든다. 아래 그림 1은 이러한 영상 피라미드를 도식화 하였다. 본 논문에서는 영상의 3번째 레벨 단계인  $2^{-6}$  크기에서 패턴 매칭을 수행하였다.

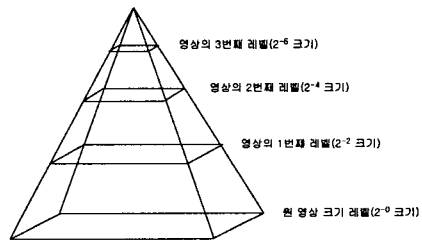


그림 1. 영상 피라미드 구축의 도식화

### 3.2 프로젝팅(Projecting)을 이용한 최종 값 검출

이 장에서는 후보자점들을 이용하여 어떻게 우리가 원하는 최종점을 뽑아내는 지에 대하여 설명한다. 3.1 절에 추출한 점들은 영상의 크기가 3번째 레벨인  $2^6$  인 크기만큼 줄어 든 곳에서의 위치점이다. 2번째 레벨인 점도 최상위 레벨보다 영상은 좋지만 아직도 손실된 점들이 많다. 그래서, 최상위 후보점 전부를 이용하여 2번째 레벨인  $2^4$ 레벨에서 수행하고 2번째 단계 결과에선 나온 점들 중 30퍼센트만 가지고 1번째 레벨인  $2^2$ 레벨에서 수행하고 원 영상에서는 3번째 단계 결과에서 10퍼센트만 가지고 매칭이 되게 한다. 그림 2는 최상위 피라미드 계층에서 계수치의 곡면을 도표로 나타낸 것을 보여준다.

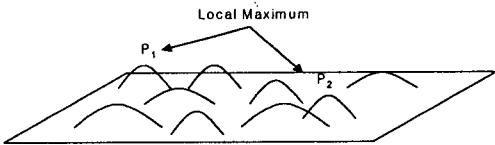


그림2. NGC결과 계수치 값을 3차원의 등고선화 시킨 도식

각 단계로 내려오면서 이웃점(Neighboring Point)들도 같이 검사하게 한다. 이웃점 중에서 매칭이 잘되는 점들을 골라서 하위 레벨로 내려오게 한다. 이러한 단계를 거치면 최종적으로 나오는 위치가 우리가 원하는 최적 정합해가 된다. 그림3은 이러한 수행과정을 도식적으로 표현하고 있다.

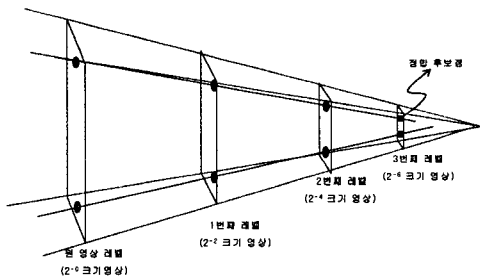


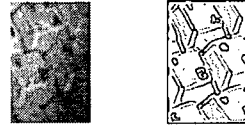
그림 3. 후보점 프로젝팅을 이용한 최종 값 획득 수행과정

## 4. 실험 결과

### 4.1 에지 정보를 이용한 패턴의 정합

NGC대신 에지를 이용하는 점상관법의 장점은 몇가지가 있다. 검사할 물체는 자동화 라인상의 임의의 조명 조건 하에서 관찰되기 때문에 가시화의 제어가 어려우며 주변물체의 반사 특성으로 인하여 검사패턴의 밝기값이 비선형적으로 변화하기 쉽다. NGC는 DC 값만의 밝기 변화를 요구 한다. 비선형 밝기 변형의 경우에는 NGC의 기본 가정을 위배하기 때문에 매칭

이 실패할 가능성이 매우 커지게 된다. 밝기변화가 불균일할 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 밝기(gray)정보대신 에지정보를 사용하는 매칭으로 적용될 수 있다.



(a) 템플레이트 영상 (b) 추출된 Canny 에지

그림 4. 에지를 이용한 패턴 인식

그림 4는 원본 템플레이트 영상의 한 예와 여기서 추출한 에지 영상을 보여주고 있다 [4-5]. 에지는 영상의 밝기 변화에 무관하게 비교적 일관적으로 추출된다.



(a) 원본 영상 (b) Canny 에지 (c) 정합 결과

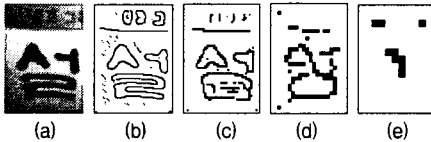
그림 5. 조명이 변화된 물체 인식

그림 5는 조명이 변화된 경우에 매칭을 시도한 결과이다. 결과에서 보듯이 밝기의 변화에 무관하게 에지는 물체에서 일관적으로 추출이 되므로 정합의 결과도 일관적으로 나타나게 된다. 조명제어가 힘든 공장 환경에서의 패턴 인식의 경우, 에지를 사용하는 것이 유리할 수 있다는 결과를 그림 6은 보여준다. 에지를 사용하는 점상관법은 조명밝기의 변화에도 불구하고 밝기가 강하게 교차하는 물체경계부의 특성은 크게 변화하지 않는다는 사실을 이용하여 특정패턴을 좀더 신뢰성 있게 정합하기 위한 시도이다. 또한 이진화된 에지를 사용하는 매칭은 픽셀의 밝기값이 255인 에지부만의 계산을 고려하므로 매칭의 시간 복잡도를 추가로 줄이는 것이 가능하다.

### 4.2 회전변환을 수용한 제한된 방법의 실험 결과

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, 점상관법에 의한 템플레이트 정합은 회전과 크기변화를 수용할 수 있게 특별히 설계되지 않는다면

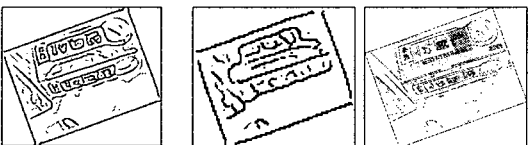
사용할 수 없게 된다. 회전이나 크기 변화가 없는 패턴 정합의 경우 통상적으로 NGC 알고리즘은  $+15^\circ \sim -15^\circ$  사이의 회전과  $+5 \sim -5\%$ 의 크기변화를 수용할 수 있다고 알려져 있으나 검사패턴이 큰 각도로 돌아가 있거나 물체의 크기변화가 크다면 전통적인 NGC는 실패하게 된다. 본 논문에서 제안된 국부 최대값을 유지한 영상 피라미드를 이용하면 회전까지 수용하는 고속 점상관 알고리즘을 설계하는 것이 가능하다. 피라미드의 최상층에서 후보점은 3가지 정보를 가진다. X, Y 좌표와 정합각도이다. 이러한 세가지 정보를 가지고 있는 후보점을 이용하여 피라미드 레벨을 내려오면서 이웃 각도(Neighboring Angle)와 이웃점(Neighboring Point)을 이용하여 정합이 잘되는 점들을 가지면서 원 영상 레벨까지 내려온다. 피라미드 레벨을 내려오면서 모든 값들은 순차적으로 정렬되고 2단계 레벨에서는 1단계 레벨에서 구한 국부 최대값들 전부가 사용되고 3단계 레벨에서는 2단계 레벨의 30퍼센트만 사용되며 원영상 레벨에서는 10퍼센트만 사용한다. 원영상 레벨에서 구한 최대 정합 값을 가지고 미세 조정을 통하여 최적 정합해를 찾아 낸다. 이는 각 레벨마다 원하는 최적 정합해가 분명하게 갈라지므로 많은 점들이 필요하지 않게 된다. 아래 그림 7은 다른 템플레이트 이미지를 사용한다. 이 영상은 입력 영상을  $200^\circ$  반시계 방향으로 회전한 입력 영상이다.



(a) 템플레이트 영상(86×118) (b) Canny 에지영상 (c)  $2^2$ 크기 영상(43×59) (d)  $2^4$ 크기 영상(22×30) (e)  $2^6$ 크기 영상(11×15)



(f)  $200^\circ$  회전 영상 (g) Canny 에지 영상 (h)  $2^2$ 크기 영상 (766 × 670) (766 × 670) (383 × 335)



(i)  $2^4$ 크기 영상 (j)  $2^6$ 크기 영상 (k) 정합 결과 영상 (191 × 167) (95 × 83) (766 × 670)

그림 7. 회전 변환을 수용한 제안된 방법의 영상 결과 회전정도에 따라 속도 차이는 있었으나, 대개 2초정도

의 시간으로 정합결과를 볼 수 있었다.

## 5. 결론

공장에서 머신비전을 사용하여 자동화시스템 계측부를 구성하는 것은 크게 두 가지 분야의 작업을 필요로 한다. 먼저, 카메라와 물체, 물체와 작업 Grid 간의 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 조명변화에 강한 패턴정합 알고리즘을 설계하여야 한다. 본 논문에서는 이진화된 에지 영상을 이용하여 영상 피라미드를 구축하고 최상위 레벨인  $2^6$ 크기에서 점상관법을 수행한 후 정합 계수치들을 이용하여 국부 최대값을 구한다. 최상위 레벨에서 구한 점들을 가지고 원영상 레벨에 도달할 때 까지 정합을 시도한다. 피라미드 레벨을 내려오면 이웃점과 이웃각도를 정합하고 각 레벨마다 정합된 점들을 순차적으로 정렬하여 정렬된 점들중 일부만을 사용하여 정합을 한다. 이 방법은 원영상을 가지고 패턴 정합에 의한 과도한 계산량을 피하기 위하여 영상 피라미드를 구축하고 그 영상 피라미드를 이용하였기 때문에 원영상에 필요한 계산량보다 상당히 개선 되어짐을 알 수 있다. 본 논문에서는 피라미드 구축시 원 영상의  $2^6$ 크기(원 영상이  $640 \times 480$ 을 기준)를 줄여도 회전을 수용한 입력 영상에서도 우리가 원하는 매칭 결과를 얻을 수 있도록 국부 최대값을 이용한 피라미드 알고리즘을 개선시켰으며 제안된 방법들은 실험을 통하여 신뢰성과 속도를 검증하였다.

## [참고문헌]

- [1] 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.
- [2] A. Rosenfeld and A.C.Kak, 'Digital picture processing,' Academic Press, New York, 1976.
- [3] S. Manickam, S.D., T. Bushman, 'Intelligent and Optimal Normalized Correlation for High-Speed Pattern Matching, Databcube Technical Paper,' Databcube Incorporation, 2000.
- [4] J. Canny, "A Computational approach to edge detection," IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 8, No.6, 1986.
- [5] 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.