

## 표면 결함 검사에서 영상의 FAST, BRIEF, ORB 특징에 관한 연구

전영민<sup>o</sup>, 지홍근<sup>\*</sup>, 서민성<sup>\*</sup>, 표민성<sup>\*</sup>, 배유석<sup>\*</sup>

<sup>o</sup>한국산업기술대학교 컴퓨터공학과

e-mail:{ymjun<sup>o</sup>, jeehg1<sup>\*</sup>, cbnm9<sup>\*</sup>, miffy9109<sup>\*</sup>, ysbae<sup>\*</sup>}@kpu.ac.kr

## A Study on the FAST, BRIEF, ORB Features of Image in the field of Surface Defect Inspection

Young-Min Jeon<sup>o</sup>, Hong-Geun Ji<sup>\*</sup>, Min-Seong Seo<sup>\*</sup>, Min-Seong Pyo<sup>\*</sup>, You-Seok Bae<sup>\*</sup>

<sup>o</sup>Dept. of Computer Engineering, Korea Polytechnic University

### ● 요약 ●

본 논문은 스마트 공장의 표면 결함 검사 시스템에서 사용할 수 있는 FAST, BRIEF, ORB 영상의 특징 활용에 관한 연구를 내용으로 다루었습니다. 본문에서는 FAST, BRIEF, ORB 특징에 대하여 원리를 소개하고, 실험에서는 이들 특징을 사용한 표면 결함 검사의 결과를 제시하였습니다.

**키워드:** 검사(Inspection), 특징(Features), FAST(Features from Accelerated Segment Test), BRIEF(Binary Robust Independent Elementary Features), ORB(Oriented FAST and Rotated BRIEF)

## I. Introduction

4차 산업혁명의 시대, 기업의 생산 시스템에서의 변화는 단순한 제품의 생산으로부터 제품의 생산 계획, 제품의 생산, 생산 후 제품의 검사 단계를 거친다. 과거에 제품의 표면 결함 검사는 사람이 육안으로 결함을 검출하는 방법을 사용하였다. 이러한 방법은 검사자의 숙련도에 따라서 검사의 정밀도와 생산성에서 큰 차이를 보이며 많은 인건비를 요구한다. 따라서 머신 비전을 이용한 표면 결함 검사 방법이 대안으로 제시되어왔다. 이 방법은 영상에서의 특징을 이용하여 결함의 유무와 위치를 자동으로 판별해내는 방법이다. 비전 센서는 비접촉 센서로 대상을 변형시키지 않고 결함 검사가 가능하며 온도, 습도, 자기장, 전기장, 표면의 질감이나 거칠기에 영향을 받지 않는다.

## II. Preliminaries

### 1. Related works

머신 비전을 이용한 결함 검사는 결함(Defect)을 정의 하고 정의된 결함을 검출(Detection)하는 방법을 주로 사용해 왔다. 결함은 정상 영역과 뚜렷한 밝기, 컬러, 윤곽(Edge), 주파수 등 형상의 차이를 보인다. VVC(Variance of Variance Components)와 VOV(Variance of Variance)는 모집단과 표본 집단들 간의 분산 값의 차이 비교에 기반 하여 영상의 결함을 검출하는 특징이다.[1] Haar 특징은 영상에서 영역 간 밝기치를 이용한 기본 특징들을 다양한 위치와 크기로 조합해 물체의 특징을 추출하는 방법이다. 기본 특징들

을 에이다 부스트 알고리즘의 약 분류기로 사용하여 대상을 인식하는 강 분류기를 구성한다.[2] Ferns 특징은 영상에서 특징 점들을 중심으로 패치를 구성해 패치내의 임의의 두 점간 밝기 차이 값의 부호를 이용한 특징이다.[3] MCT(Modified Census Transform) 특징은 한 픽셀 주위 일정 패치를 구성하여 패치의 픽셀 밝기 값이 평균보다 크면 1, 아니면 0으로 설정하여 얻어진 이진 문자열을 특징으로 사용한다.[4][5] 이외에도 영상에서 코너 특징 점을 찾아내는 FAST 알고리즘, 특징 기술자를 빠르게 계산하고 정합하는 BRIEF 알고리즘, FAST로 구한 코너 특징 점 좌표를 중심으로 BRIEF 알고리즘을 적용하여 정합을 하는 ORB 알고리즘이 있다.

본 논문에서는 FAST, BRIEF, ORB 알고리즘에 대해 소개하고, 실험에서는 이들 알고리즘을 사용한 표면 결함 검사의 결과를 제시한다.

## III. Research Contents

### 1. FAST Algorithm

FAST(Features from Accelerated Segment Test) 알고리즘은 영상에서 코너 특징 점을 빠르게 검출하는 알고리즘이다. FAST 알고리즘은 속도에 중점을 둔 알고리즘임에도 Harris 코너 검출기나 DoG(Difference Of Gaussian) 등의 기존 알고리즘에 상응하는 높은 코너 특징 점 검출 성능을 보인다.[6]

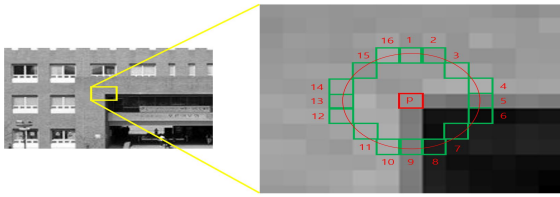


Fig. 1. The conceptual diagram of FAST

FAST 알고리즘의 코너 특징 점 검출 알고리즘은 다음과 같다. 영상의 특정 픽셀  $p$ 에 대해  $p$ 의 밝기를  $l_p$ 라 하고 임의의 기준 값  $t$ 를 설정한다.  $p$ 를 중심으로 반지름 3의 원위에 배치된 16개의 픽셀 중 연속하여 임의의  $n$ 개 이상 배치되어 있다면 후보 코너 점으로 선택한다. 일반적으로  $n$ 은 12로 설정한다. 이때, 16개의 픽셀 중 상단과 하단, 우측과 좌측에 위치한 1번, 9번, 5번, 13번 픽셀 값 4개 중 3개가  $l_p + t$  보다 밝거나  $l_p - t$  보다 어두운지를 검사하는 고속 테스트를 수행하여 코너가 아닌 후보 점을 제거한다.

그러나 FAST 알고리즘은 다음과 같은 약점이 존재한다. 첫째로,  $n$ 을 12보다 작은 값으로 설정할 경우 후보 코너 점의 수가 많아져 계산 속도가 떨어진다. 둘째로, 코너의 방향과 주위 픽셀 분포에 따라 코너 특징 점이 검출되지 않을 수 있다. 셋째로, 고속 테스트를 통하여 코너 특징 점이 후보 점에서 제외될 수 있다. 넷째로, 하나의 코너 점 주위로 다중 코너 특징점이 검출된다. 이러한 약점을 보완하기 위해 의사 결정 트리 기반 ID3 알고리즘을 적용해 앞의 세 가지 약점을 보완하고 non-maximal suppression을 적용해 마지막 약점을 보완했다.

의사결정트리 ID3를 구성하기위해 훈련 데이터를 준비한다. 코너 특징 점을 검출하고자 하는 영상들을 훈련 데이터로서 준비한다. 훈련 데이터에 대해 FAST 알고리즘을 적용하여 후보 코너 점을 검출한다. 특정 후보 코너 점  $p$ 를 중심으로 반지름 3의 원에 해당하는 16개의 픽셀 값으로 16차원의 벡터를 구성한다. 각 벡터의 원소는 아래 수식과 같이  $p$ 의 밝기보다 밝거나, 비슷하거나, 어두운 세 하위 집합으로 나눌 수 있다. 이를 ID3 알고리즘의 입력으로 전달하여 의사결정트리를 구성한다.

$$S_{p \rightarrow x} = \begin{cases} d, & l_{p \rightarrow x} \leq l_p - t \\ s, & l_p - t < l_{p \rightarrow x} < l_p + t \\ b, & l_p + t \leq l_{p \rightarrow x} \end{cases}$$

non-maximal suppression은 하나의 코너 후보 점  $p$ 와 인접한 후보 코너 점들에 대해  $V$ 를 계산하여 값이 큰 후보 코너 점을 코너 특징 점으로 선택하는 방법이다. 이러한 방법을 통해 코너 주위로 다중 코너 특징점이 검출되는 약점을 보완했다.

$$V = \max \left( \sum_{x \in S_1} |x - p| - t, \sum_{x \in S_2} |p - x| - t \right)$$

## 2. BRIEF Algorithm

BRIEF(Binary Robust Independent Elementary Features)알고리즘은 패치 내에서 임의의 픽셀 쌍의 밝기 비교를 통해 이진 기술자

(descriptor)를 구성하는 알고리즘이다. BRIEF 알고리즘은 계산이 빠르고 높은 식별력을 가지며 정합(matching) 과정이 빠르다는 장점이 있다. BRIEF 알고리즘은 영상에서 코너, 에지 등의 특징 점을 검출하는 알고리즘이 아니므로 특징 점을 검출하는 알고리즘과 함께 사용해야 한다.[7]

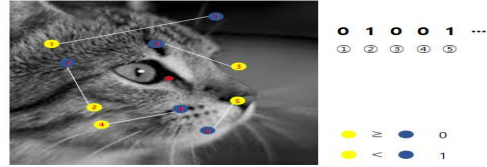


Fig. 2. The conceptual diagram of BRIEF

BRIEF 기술자를 구성하고 정합하는 방법은 다음과 같다. 먼저, 영상의 코너, 에지 등의 특징 점을 중심으로 가로, 세로 9의 패치  $p$ 를 구성한다. 패치  $p$ 에 분산 2를 따르는 가우시안 스무딩을 적용해 노이즈를 제거한다. 그 후, Fig.2와 같이 패치 내에 중복되지 않는  $n_d$ 개의 픽셀 쌍을 지정하는 샘플링 패턴을 구성한다.  $n_d$ 는 영상에 따라 128, 256, 512로 설정한다. 한 쌍의 두 픽셀 밝기  $x, y$ 에 대해서 이진 테스트  $\tau$ 를 수행한다. 이진 테스트  $\tau$ 는 두 픽셀  $x, y$ 의 밝기 값을 비교하여  $y$ 가 크다면 1, 작거나 같다면 0으로 설정한다.

$$\tau(p; x, y) = \begin{cases} 1 & \text{if } p(x) < p(y) \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

이진 테스트  $\tau$ 를  $n_d$ 개의 픽셀 쌍에 대해 수행하여  $p$ 의 이진 기술자  $f_{n_d}(p)$ 를 구성한다. 이진 기술자  $f_{n_d}$ 를 수식으로 표현하면 아래와 같다.

$$f_{n_d}(p) := \sum_{1 \leq i \leq n_d} 2^{i-1} \tau(p; x_i, y_i)$$

마지막으로, 서로 다른 패치의 비교를 위해 두 기술자 사이의 XOR 연산을 통해 해밍거리(Hamming distance)를 계산하여 정합한다.

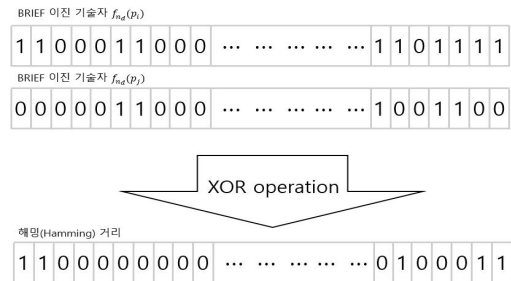


Fig. 3. The hamming distance

BRIEF 알고리즘은 다른 알고리즘이 기술자를 구성하고 이진화하는 것과는 다르게 바로 이진 기술자를 구성하고 XOR 연산을 통한 빠른 정합으로 계산 속도를 높였다.

### 3. ORB Algorithm

ORB(Oriented FAST and Rotated BRIEF)알고리즘은 이미지 피라미드를 적용한 FAST 알고리즘으로 코너 특징 점을 구하고 특징 점을 기준으로 행렬의 회전변환을 통해 보완한 BRIEF 기술자를 정의해 정합을 하는 알고리즘이다.[8]

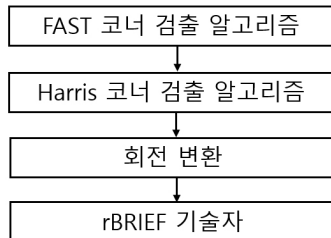


Fig. 4. The flow of ORB algorithms

ORB에서 사용하는 FAST 알고리즘은 일반적인 FAST 알고리즘과 다르다. 첫째, FAST 알고리즘은 영상의 확대 축소 기능이 없기 때문에 해당 배율에서만 코너 특징 점을 검출 하는 단점을 가진다. ORB에서는 이를 보완하기 위해 이미지 피라미드를 생성하여 배율마다 FAST 알고리즘을 적용해 특징 점을 검출한다.

둘째, FAST 알고리즘은 코너 특징 점뿐만 아니라 수평, 수직, 대각 선을 구성하는 에지 특징 점도 검출하는 단점을 가진다. ORB에서는 이러한 단점을 보완하기 위해서 FAST 알고리즘으로 검출한 코너 특징 점을 기준으로 Harris 코너 검출 알고리즘을 적용한다.[9] N개의 코너 점을 검출하기 위해서 Harris 코너 검출 알고리즘의 특징 점 평가 값들을 내림차순 정렬해 상위 N개의 특징 점을 선택한다. N개의 코너 특징 점을 검출 할 수 없다면 Harris 코너 검출 알고리즘의 임계값을 낮추어 충분한 특징 점을 검출하고 상위 N개의 특징 점을 검출한다.

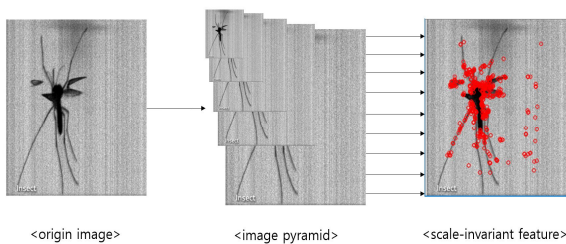


Fig. 5. Image pyramid and detect scale invariant feature

일반적인 BRIEF 알고리즘은 정합을 위해 빠르게 이진 기술자를 정의하는 용도로 사용된다. 그러나 BRIEF 알고리즘은 기술자를 고정된 각도에서 구성하므로 1도라도 기준각보다 회전된 대상과의 정합은 정확도가 떨어지는 단점을 가진다. ORB에서는 패치 내 화소의 무게중심좌표와 1차 모멘트를 통해 계산한 원점과의 벡터 각 $\theta$ 를 계산하고 행렬의 회전변환을 통해 rBRIEF(rotational BRIEF) 기술자를 구성하는 방법을 제시한다.

Harris 코너 검출 알고리즘으로 구한 특징 점을 중심으로 가로 31, 세로 31의 패치를 구성한다. 패치의 1차 모멘트를 아래 수식으로

나타낸다. I는 영상의 밝기 값을 의미한다.

$$m_{p,q} = \sum_{x,y} x^p y^q I(x,y)$$

1차 모멘트 값을 이용해 패치의 무게 중심점(centroid)의 좌표C를 구한다.

$$C = \left( \frac{m_{10}}{m_{00}}, \frac{m_{01}}{m_{00}} \right)$$

벡터의 원점 O로부터 패치의 무게 중심 C로의 벡터  $\overrightarrow{OC}$ 를 구하고 패치의 회전각  $\theta$ 를 역 탄젠트를 통하여 구한다.

$$\theta = atan2(m_{01}, m_{10})$$

BRIEF 기술자에서 n개의 샘플링 패턴으로 얻어진 좌표 쌍  $(x_i, y_i)$ 의 행렬 S를 다음과 같이 구성한다.

$$S = \begin{pmatrix} x_1 & \dots & x_n \\ y_1 & \dots & y_n \end{pmatrix}$$

행렬 S에 패치의 회전각  $\theta$ 만큼 회전변환을 적용하여 회전 보정된 행렬  $S_\theta$ 를 구한다. 최종적으로 패치p에 대해 회전각  $\theta$ 만큼 회전 보정된 rBRIEF 기술자 $g_n$ 을 아래와 같이 나타낸다.

$$g_n(p, \theta) := f_n(p) | (x_i, y_i) \in S_\theta$$

FAST 알고리즘과 BRIEF 알고리즘은 모두 적은 계산으로 높은 성능을 보이는 알고리즘이다. 그러나 FAST 알고리즘은 다양한 크기의 코너 특징 점을 검출 하지 못하고 BRIEF 알고리즘은 회전에 취약하다는 단점이 존재했다. ORB 알고리즘은 FAST와 BRIEF 알고리즘의 약점을 보완하여 다양한 크기의 코너 특징 점 검출이 가능하고 회전에도 강건한 기술자를 정의하는 알고리즘 이다.

### IV. Research Result

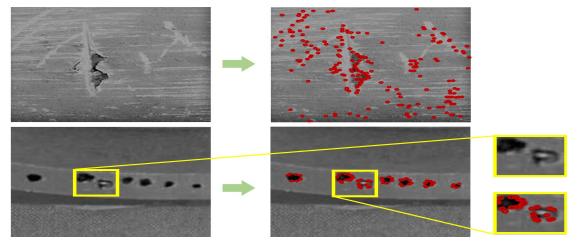


Fig. 6. The Result of FAST feature detect on metal surface

금속 표면 영상에 대해 FAST 알고리즘을 이용한 코너 특징 점 검출 결과이다. 상단의 이미지는 거친 금속 표면에서의 결함을 검출한 결과이다. 하단의 이미지는 매끄러운 금속 표면에서의 결함을 검출한

결과다. 결함의 위치를 중심으로 코너 특징 점이 검출되어 FAST 알고리즘을 통한 결함 검출이 용이함을 보여준다.

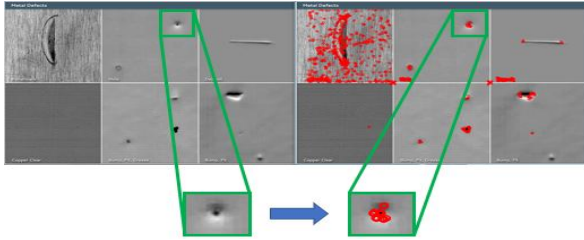


Fig. 7. The Result of ORB feature detect on metal surface

금속 표면 영상에 대해 ORB 알고리즘에서의 크기 불변성 특징 점 검출 결과이다. 왼쪽 상단의 영상과 같이 매끄럽지 않은 표면에서는 특징 점이 많이 검출되어 정확한 결함 검출이 힘들지만, 그 외의 매끄러운 표면에서는 결함이 있는 부분에만 집중적으로 특징 점이 검출되는 것을 볼 수 있다. 따라서 ORB 알고리즘을 사용하면 매끄러운 표면에서의 결함 검출이 가능하다는 것을 확인할 수 있다.

## V. Conclusions

본 논문에서는 머신 비전을 이용한 자동 표면 결함 검사 시스템에서 사용할 수 있는 특징으로서 FAST, BRIEF, ORB를 소개하였습니다. 또한, FAST와 ORB 영상의 특징에 관해 금속 표면의 결함 검출에 적용하는 접근으로 실용화 방법에 관하여 연구를 하였으며 실험결과 제시를 통해서 검증하였습니다.

## REFERENCES

- [1] Bgkwon, "Study for Surface Defect Inspection Based on Machine Learning Method" Pusan National University Graduate School: Mechanical Engineering, 2015. 8.
- [2] Viola, P and Jones, M, "Rapid object detection using a boosted cascade of simple features" In Computer Vision and Pattern Recognition, IEEE Computer Society Conference on, Vol. 1, pp.I-I, 2001.
- [3] Mustafa Özuysal, Michael Calonder, Vincent Lepetit and Pascal Fua, "Fast Keypoint Recognition using Random Ferns," Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne: Computer Vision Laboratory, I&C Faculty, 2008. 11.
- [4] Zabih, R. Woodfill, J, "Non-parametric local transforms for computing visual correspondence" In European conference on computer vision, Springer, Berlin, Heidelberg, pp.151-158, May. 1994.
- [5] Froba, B, and Ernst, A, "Face detection with the modified census transform," In Automatic Face and Gesture Recognition, Proceedings. Sixth IEEE International Conference ,pp. 91-96. IEEE, May. 2004.
- [6] Edward Rosten and Tom Drummond, "Machine learning for high-speed corner detection" Cambridge University: Department of Engineering, 2006.
- [7] Michael Calonder, Vincent Lepetit, Christoph Strecha, and Pascal Fua, "BRIEF: Binary Robust Independent Elementary Features" CVLab, Ecole polytechnique fédérale de Lausanne, Lausanne, 2010.
- [8] Ethan Rublee Vincent Rabaud Kurt Konolige Gary Bradski, "ORB: an efficient alternative to SIFT or SURF" Willow Garage, Menlo Park, California, 2011.
- [9] Chris Harris, Mike Stephens, "A COMBINED CORNER AND EDGE DETECTOR" Plessey Research Roke Manor, United Kingdom, 1988.