



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2018년12월17일
(11) 등록번호 10-1929669
(24) 등록일자 2018년12월10일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G06T 7/00 (2017.01) G06K 9/46 (2006.01)
G06T 7/194 (2017.01)
(52) CPC특허분류
G06T 7/0002 (2013.01)
G06K 9/46 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2017-0082390
(22) 출원일자 2017년06월29일
심사청구일자 2017년06월29일
(56) 선행기술조사문헌
논문1
논문2
논문3
KR1020170067264 A

(73) 특허권자
한경대학교 산학협력단
경기도 안성시 중앙로 327(석정동)
(72) 발명자
김상훈
서울특별시 강남구 개포로 516 604동 1308호 (개포동, 주공아파트)
마이 탄 닷 프루옹
경기도 안성시 중앙로 327 (석정동)
(74) 대리인
특허법인 피씨알

전체 청구항 수 : 총 7 항

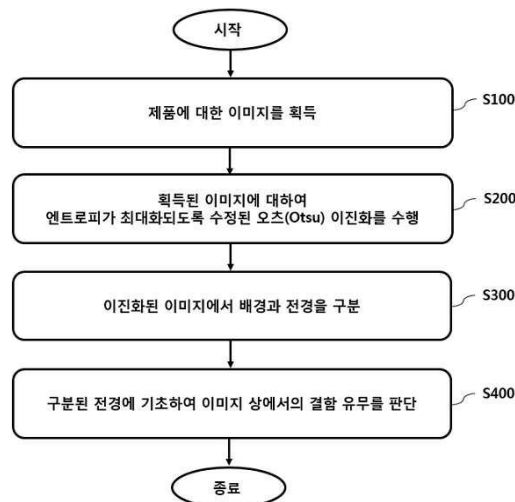
심사관 : 신재철

(54) 발명의 명칭 엔트로피를 이용하여 이미지를 분석하는 방법 및 장치

(57) 요약

본 발명의 일 실시예에 따른 엔트로피를 이용하여 이미지를 분석하는 방법은, 제품에 대한 이미지를 획득하는 단계, 획득된 이미지에 대하여 엔트로피가 최대화되도록 수정된 오투(Otsu) 이진화를 수행하는 단계, 이진화된 이미지에서 배경과 전경을 구분하는 단계 및 구분된 전경에 기초하여 이미지 상에서의 결함 유무를 판단하는 단계를 포함하고, 엔트로피가 최대화되도록 수정된 오투 이진화는 이미지 엔트로피와 임계화된 이미지의 클래스 간 분산이 동시에 최대화되도록 이미지를 이진화하는 것일 수 있다.

대표도 - 도5



(52) CPC특허분류

G06T 7/194 (2017.01)

G06T 7/40 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 GRRC 환경 2012-B02

부처명 경기도

연구관리전문기관 경기도지역협력연구센터

연구사업명 경기도지역협력연구센터(GRRC) 사

연구과제명 지능적 물류검사에 적합한 비전검사 알고리즘 및 유무선 통합제어시스템 개발

기 여 율 1/1

주관기관 한경대학교 산학협력단

연구기간 2016.07.01 ~ 2017.06.30

명세서

청구범위

청구항 1

엔트로피를 이용하여 이미지를 분석하는 방법으로서,

제품에 대한 이미지를 획득하는 단계;

상기 획득된 이미지에 대하여 엔트로피가 최대화되도록 수정된 오투(Otsu) 이진화를 수행하는 단계;

이진화된 상기 이미지에서 배경과 전경을 구분하는 단계; 및

상기 구분된 전경에 기초하여 상기 이미지 상에서의 결함 유무를 판단하는 단계를 포함하고,

상기 엔트로피가 최대화되도록 수정된 오투 이진화는 이미지 엔트로피와 임계화의 결과로 분류된 이미지의 클래스 간 분산(between-class variance)이 동시에 최대화되도록 상기 이미지를 이진화하는 것이고,

상기 이미지의 클래스는 상기 수정된 오투 이진화 과정에서 추정된 임계값을 기준으로 분류된 픽셀들의 그룹을 나타내는 것인 엔트로피를 이용하여 이미지를 분석하는 방법.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 수정된 오투 이진화는 상기 이미지에 대한 클래스 간 분산이 최대가 되도록 하는 임계값의 추정 과정에서 아래의 수학식에 의하여 상기 이미지 엔트로피가 가중되어 추정되는 이진화이고,

$$k^* = \arg \max_{0 \leq k \leq L-1} \{ \psi(k)(\omega_1(k)\mu_1^2(k) + \omega_2(k)\mu_2^2(k)) \}$$

k^* 는 임계값, $\psi(k)$ 는 상기 이미지의 엔트로피 함수, L 은 그레이 레벨(gray level), $\omega_1(k)$ 는 제 1 클래스 발생 확률, $\mu_1(k)$ 는 제 1 클래스의 평균 그레이 값, $\omega_2(k)$ 는 제 2 클래스 발생 확률, $\mu_2(k)$ 는 제 2 클래스의 평균 그레이 값인 엔트로피를 이용하여 이미지를 분석하는 방법.

청구항 3

제 1 항에 있어서,

상기 제품에 대한 이미지는 상기 제품의 표면 이미지이고,

사용자로부터 별도의 매개변수를 입력받음 없이 상기 수정된 오투 이진화를 통하여 상기 제품의 표면 이미지에 서 결함 영역을 검출할 수 있는 것인 엔트로피를 이용하여 이미지를 분석하는 방법.

청구항 4

엔트로피를 이용하여 이미지를 분석하는 장치로서,

제품에 대한 이미지를 획득하는 이미지 획득부;

상기 획득된 이미지에 대하여 엔트로피가 최대화되도록 수정된 오투(Otsu) 이진화를 수행하는 이미지 변환부; 및

이진화된 상기 이미지에서 배경과 전경을 구분하고, 상기 구분된 전경에 기초하여 상기 이미지 상에서의 결함 유무를 판단하는 이미지 분석부를 포함하고,

상기 엔트로피가 최대화되도록 수정된 오츠 이진화는 이미지 엔트로피와 임계화의 결과로 분류된 이미지의 클래스 간 분산(between-class variance)이 동시에 최대화되도록 상기 이미지를 이진화하는 것이고,

상기 이미지의 클래스는 상기 수정된 오츠 이진화 과정에서 추정된 임계값을 기준으로 분류된 픽셀들의 그룹을 나타내는 것인 엔트로피를 이용하여 이미지를 분석하는 장치.

청구항 5

제 4 항에 있어서,

상기 수정된 오츠 이진화는 상기 이미지에 대한 클래스 간 분산이 최대가 되도록 하는 임계값의 추정 과정에서 아래의 수학적식에 의하여 상기 이미지 엔트로피가 가중되어 추정되는 이진화이고,

$$k^* = \arg \max_{0 \leq k \leq L-1} \{ \psi(k)(\omega_1(k)\mu_1^2(k) + \omega_2(k)\mu_2^2(k)) \}$$

k^* 는 임계값, $\psi(k)$ 는 상기 이미지의 엔트로피 함수, L 은 그레이 레벨(gray level), $\omega_1(k)$ 는 제 1 클래스 발생 확률, $\mu_1(k)$ 는 제 1 클래스의 평균 그레이 값, $\omega_2(k)$ 는 제 2 클래스 발생 확률, $\mu_2(k)$ 는 제 2 클래스의 평균 그레이 값인 엔트로피를 이용하여 이미지를 분석하는 장치.

청구항 6

제 4 항에 있어서,

상기 제품에 대한 이미지는 상기 제품의 표면 이미지이고,

사용자로부터 별도의 매개변수를 입력받음 없이 상기 수정된 오츠 이진화를 통하여 상기 제품의 표면 이미지에 서 결함 영역을 검출할 수 있는 것인 엔트로피를 이용하여 이미지를 분석하는 장치.

청구항 7

제 1 항 내지 제 3 항 중 어느 한 항의 방법을 구현하기 위한 프로그램이 기록된 컴퓨터로 판독 가능한 기록 매체.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 엔트로피를 이용하여 이미지를 분석하는 방법 및 장치에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 오츠(Otsu) 방법에 엔트로피 가중치를 적용함으로써 이미지 엔트로피와 임계화된 이미지의 클래스 간 분산을 동시에 최대화하여, 제품에 대한 이미지에서 가능한 한 많은 결함 영역을 표시하기 위한 이미지 분석 방법 및 장치에 관한 것이다.

배경 기술

[0003] 첨단 기술의 유용성과 산업 생산력의 급속한 성장의 결과 매일 엄청난 양의 제품들이 생산되고 있다. 이러한 대규모 생산은 단기간에 검사를 마쳐야 하는 막대한 양의 제품들로 인해 수동 결함 검출을 불가능하게 만들고 있다. 이에 따라, 최근 장비를 기반으로 한 결함 검출 시스템에 대한 연구가 주목 받고 있다. 결함 검출을 위한 두 가지 기본적인 검사 방법에는 파괴검사(Destructive Test)와 비파괴검사(NonDestructive Test)가 있다. 파

괴검사에서는 재료 또는 제품의 강도, 건고성 및 내구성과 같은 물리적 특성을 검사하기 위해 제품을 해체해야 한다. 또한, 파괴검사는 설계상 약점을 판단하거나 다른 방법으로 검출할 수 없는 숨겨진 결함을 드러내는데 사용될 수 있다. 이러한 파괴검사와 달리, 비파괴검사(이하, NDT)는 제품 등의 본래 특성을 변경하거나 손상을 주지 않으면서 물건의 속성을 검사하거나 결함을 검출하는데 사용되는 기술이다. 검사 후 제품이 정상적으로 작동할 수 있으므로, NDT는 결함 검출에 시간과 비용을 절약할 수 있는 좋은 방법이다. 일반적인 NDT 방법은 초음파 비파괴검사, 열화상 비파괴검사, 육안 비파괴검사, 액체침투 비파괴검사, 자분 비파괴검사(Magnetic Particle testing)가 있다.

[0004] 일반적인 NDT 방법 중, 육안 비파괴검사는 고속 프로세스이며 복잡한 장비를 필요로 하지 않기 때문에 가장 선호된다. 이 방법은 카메라, 스캐너 및 센서를 이용하여 재료 또는 제품의 시각화 데이터를 생성하고, 컴퓨터 비전 알고리즘 또는 이미지 프로세스 기술을 사용하여 시각화 데이터로부터 결함을 검출해내는 과정을 수행한다. 이러한 종래의 육안 비파괴검사는 그동안 제품 결함 검출을 위하여 비교적 성공적으로 적용되어 왔다. 직물, 종이, 호일 또는 강철과 같은 여러 종류의 제품을 검사하기 위해 서로 다른 알고리즘이 적용될 수 있지만, 이러한 알고리즘의 대부분은 다소 복잡하기 때문에, 제품 결함 검사 프로세스를 완료하는데에는 많은 시간이 필요하다. 따라서, 사용자에게 의한 수동 조작이 없이 다양한 제품에 대해 만족스러운 결과를 산출해낼 수 있는 신속하고 자동적인 알고리즘이 절실히 필요한데, 이러한 방법의 개발을 위한 유망한 접근법 중 하나가 자동 임계화(Automatic Thresholding)이다.

[0005] 자동 임계화는 자동화된 육안 품질 검사 시스템뿐만 아니라 분할 감지, 모서리 감지 및 동작분석과 같은 컴퓨터 비전의 여러 영역에서도 널리 사용되고 있다. 이러한 이미지 분석 기술에서는 이미지를 배경 및 관심대상의 집합으로 나누기 위해 최적의 임계값을 엄밀히 선택하는 과정을 필요로 한다. 즉, gray scale 이미지를 k-ary 이미지로 변환하여 객체를 배경과 분리한다. 자동 임계화는 비교적 간단하고 효과적인 방법이므로, 이미지 처리에 있어서 여러 가지 응용 형태로 발전되어 왔다. 즉, 상당수의 자동 임계화 관련 기술이 개발되어 왔다. 그러나, 이러한 종래의 자동 임계화 기술은 제품의 표면 이미지 특성(예컨대, 픽셀 값의 균일성 등)에 따라 결함 검출에 있어서 가변적인 효율(예컨대, 효율이 점차 낮아짐)을 보였고, 안정적이지 못하였다.

선행기술문헌

특허문헌

- [0007] (특허문헌 0001) 1. 대한민국 등록특허공보 제10-1224164호(2013.01.14)
(특허문헌 0002) 2. 대한민국 등록특허공보 제10-1612054호(2016.04.06)

발명의 내용

해결하려는 과제

[0008] 본 발명은 전술한 문제점에 대한 일 대응으로서 안출된 것으로, 기존의 오투(Otsu) 이진화를 개선한 새로운 육안 검사 알고리즘을 제안하고자 한다.

[0009] 결함 검출은 산업 품질 관리에 있어서 가장 중요한 작업 중 하나며, 까다로운 문제이다. 여러 육안검사 기술들 중, 자동 임계화(Automatic Thresholding)는 시스템으로의 구현 및 각종 파라미터 등의 계산이 비교적 단순하기 때문에 결함 검출에 일반적으로 사용되는 방법인데, 이러한 종래의 자동 임계화 기본 원리에 엔트로피 가중치법(Entropy Weighting Scheme)을 적용함으로써 Otsu's method를 획기적으로 개선한 자동 임계화 기술을 제안하고자 한다.

과제의 해결 수단

[0011] 본 발명의 일 실시예로써, 엔트로피를 이용하여 이미지를 분석하는 방법 및 장치가 제공될 수 있다.

[0012] 본 발명의 일 실시예에 따른 엔트로피를 이용하여 이미지를 분석하는 방법은, 제품에 대한 이미지를 획득하는 단계, 획득된 이미지에 대하여 엔트로피가 최대화되도록 수정된 오투(Otsu) 이진화를 수행하는 단계, 이진화된 이미지에서 배경과 전경을 구분하는 단계 및 구분된 전경에 기초하여 이미지 상에서의 결함 유무를 판단하는 단계를 포함하고, 엔트로피가 최대화되도록 수정된 오투 이진화는 이미지 엔트로피와 임계화된 이미지의 클래스

간 분산이 동시에 최대화되도록 이미지를 이진화하는 것일 수 있다.

[0013] 또한, 수정된 오츠 이진화는 이미지에 대한 클래스 간 분산이 최대가 되도록 하는 임계값의 추정 과정에서 아래의 수학적식에 의하여 이미지 엔트로피가 가중되어 추정되는 이진화이고,

$$k^* = \arg \max_{0 \leq k \leq L-1} \{ \psi(k) (\omega_1(k) \mu_1^2(k) + \omega_2(k) \mu_2^2(k)) \}$$

[0014]

[0015] k^* 는 임계값, $\psi(k)$ 는 이미지의 엔트로피 함수, L 은 그레이 레벨(gray level), $\omega_1(k)$ 는 제 1 클래스 발생 확률, $\mu_1(k)$ 는 제 1 클래스의 평균 그레이 값, $\omega_2(k)$ 는 제 2 클래스 발생 확률, $\mu_2(k)$ 는 제 2 클래스의 평균 그레이 값일 수 있다.

[0016] 본 발명의 일 실시예에 따른 제품에 대한 이미지는 제품의 표면 이미지이고, 사용자로부터 별도의 매개변수를 입력받음 없이 수정된 오츠 이진화를 통하여 제품의 표면 이미지에서 결함 영역을 검출할 수 있다.

[0017] 본 발명의 일 실시예에 따른 엔트로피를 이용하여 이미지를 분석하는 장치는, 제품에 대한 이미지를 획득하는 이미지 획득부, 획득된 이미지에 대하여 엔트로피가 최대화되도록 수정된 오츠(Otsu) 이진화를 수행하는 이미지 변환부 및 이진화된 이미지에서 배경과 전경을 구분하고, 구분된 전경에 기초하여 이미지 상에서의 결함 유무를 판단하는 이미지 분석부를 포함하고, 엔트로피가 최대화되도록 수정된 오츠 이진화는 이미지 엔트로피와 임계화된 이미지의 클래스 간 분산이 동시에 최대화되도록 이미지를 이진화하는 것일 수 있다.

[0018] 수정된 오츠 이진화는 이미지에 대한 클래스 간 분산이 최대가 되도록 하는 임계값의 추정 과정에서 이미지 엔트로피가 가중되어 추정되는 이진화일 수 있다.

[0019] 또한, 제품에 대한 이미지는 제품의 표면 이미지이고, 사용자로부터 별도의 매개변수를 입력받음 없이 수정된 오츠 이진화를 통하여 제품의 표면 이미지에서 결함 영역을 검출할 수 있다.

[0020] 한편, 본 발명의 일 실시예로써, 전술한 방법을 컴퓨터에서 실행시키기 위한 프로그램을 기록한 컴퓨터로 읽을 수 있는 기록매체가 제공될 수 있다.

발명의 효과

[0022] 본 발명의 일 실시예에 따른 엔트로피를 이용하여 이미지를 분석하는 방법 및 장치에서는 엔트로피 이론을 사용하여 사용자로부터 별개의 매개변수를 입력받지 않고도 제품의 표면에 대한 결함 유무를 검출할 수 있다. 즉, 사용자는 임계값 결정을 위한 매개변수 등을 수동으로 조정할 필요가 없다.

[0023] 또한, 본 발명의 일 실시예에 따른 엔트로피를 이용하여 이미지를 분석하는 방법은 제품에 대한 이미지가 획득된 이후에는 완전히 자동으로 수행될 수 있고, 제품의 표면적에 비해 극히 작은 결함 영역도 검출해낼 수 있다.

[0024] 또한, 본 발명의 일 실시예에 따른 엔트로피를 이용하여 이미지를 분석하는 방법은 임계값 등의 계산이 단순하기 때문에 이미지에 대한 분석 과정이 실시간으로 처리될 수 있고, 비교적 제한적인 계산 자원을 갖는 임베디드 시스템 등에서도 효율적으로 활용될 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0026] 도 1은 결함 검출에 관한 종래의 Otsu's method 대비 valley-emphasis method의 효율을 나타낸다.

도 2는 도 1의 이미지의 히스토그램 및 선택된 임계값을 나타낸다.

도 3은 종래의 Otsu's method 등을 적용한 결과를 나타낸다.

도 4는 웨이퍼 표면의 이미지 예 및 그러한 이미지의 히스토그램을 나타낸다.

도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 엔트로피를 이용하여 이미지를 분석하는 방법의 순서도를 나타낸다.

도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 엔트로피를 이용하여 이미지를 분석하는 장치의 블록도이다.

도 7은 제품 표면 이미지에서의 결함 검출에 있어서 본 발명의 일 실시예에 따른 방법의 효과(성능)을

나타낸다.

도 8은 본 발명의 일 실시예에 따른 방법 및 종래의 방법을 이용하여 결함을 검출한 결과를 나타낸다.

도 9는 도 8의 (a)에서 흰색 직사각형으로 표시된 영역의 확대된 부분을 나타낸다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0027] 아래에서는 첨부한 도면을 참조하여 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 실시할 수 있도록 본 발명의 실시예를 상세히 설명한다. 그러나 본 발명은 여러 가지 상이한 형태로 구현될 수 있으며 여기에서 설명하는 실시예에 한정되지 않는다. 그리고 도면에서 본 발명을 명확하게 설명하기 위해서 설명과 관계없는 부분은 생략하였으며, 명세서 전체를 통하여 유사한 부분에 대해서는 유사한 도면 부호를 붙였다.

[0028] 본 명세서에서 사용되는 용어에 대해 간략히 설명하고, 본 발명에 대해 구체적으로 설명하기로 한다.

[0029] 본 발명에서 사용되는 용어는 본 발명에서의 기능을 고려하면서 가능한 현재 널리 사용되는 일반적인 용어들을 선택하였으나, 이는 당 분야에 종사하는 기술자의 의도 또는 관례, 새로운 기술의 출현 등에 따라 달라질 수 있다. 또한, 특정한 경우는 출원인이 임의로 선정한 용어도 있으며, 이 경우 해당되는 발명의 설명 부분에서 상세히 그 의미를 기재할 것이다. 따라서 본 발명에서 사용되는 용어는 단순한 용어의 명칭이 아닌, 그 용어가 가지는 의미와 본 발명의 전반에 걸친 내용을 토대로 정의되어야 한다.

[0030] 명세서 전체에서 어떤 부분이 어떤 구성요소를 "포함"한다고 할 때, 이는 특별히 반대되는 기재가 없는 한 다른 구성요소를 제외하는 것이 아니라 다른 구성요소를 더 포함할 수 있음을 의미한다. 또한, 명세서에 기재된 "...부", "모듈" 등의 용어는 적어도 하나의 기능이나 동작을 처리하는 단위를 의미하며, 이는 하드웨어 또는 소프트웨어로 구현되거나 하드웨어와 소프트웨어의 결합으로 구현될 수 있다. 또한, 명세서 전체에서 어떤 부분이 다른 부분과 "연결"되어 있다고 할 때, 이는 "직접적으로 연결"되어 있는 경우뿐 아니라, "그 중간에 다른 소자를 사이에 두고" 연결되어 있는 경우도 포함한다.

[0031] 최첨단 자동 임계화 기술인 오투 방법(Otsu's method)은 여러 자동 결함 검출 방식들의 기초가 되는 방법이다. 이 방법은 전경(foreground)과 배경(background)의 클래스 간 차이를 최대화하는 최적의 임계값을 결정하는 방법에 관한 것이다. 자동 클러스터링 기반 이미지 임계화 방법인 Otsu's method는 다음과 같이 이해될 수 있다.

[0032] $I = f(x, y)$ 를 디지털 이미지라고 하면, 이때, f 는 강도(intensity) 함수이다. $[0, L - 1]$ 구간에서의 (x, y) 영역에서 $f(x, y)$ 는 그레이 값(gray value)을 가지게 되고, 이때, L 은 그레이 레벨(gray level)의 수를 나타낸다. 또한, 그레이 값 i 의 픽셀 수를 n_i 라고 하고, I 에서의 총 픽셀 수를 N 이라고 하면 이때, 히스토그램은 다음과 같은 수학적 식 1의 확률 분포로 간주할 수 있다.

[0034] [수학적 식 1]

$$p_i = \frac{n_i}{N}$$

[0035]

[0037] 이때, 평균 그레이 값 I 는 다음과 같은 수학적 식 2에 의하여 표현될 수 있다.

[0039] [수학적 식 2]

$$\mu_I = \sum_{i=0}^{L-1} i p_i$$

[0040]

[0041]

[0042] 임계화의 결과로, I의 픽셀들은 $C_1 = \{(x, y) \mid 0 \leq f(x, y) \leq k\}$ 과 $C_2 = \{(x, y) \mid k+1 \leq f(x, y) \leq L-1\}$ 의 두 클래스로 나뉘며, 이때 k 는 선택된 임계값을 나타낸다. 일반적으로, C_1 은 전경이고 C_2 는 배경이 될 수 있다. 클래스 발생확률 및 각 클래스의 평균 그레이 값은 각각 다음과 같이 수학적식 3 및 수학적식 4를 이용하여 추정(계산)될 수 있다.

[0044] [수학적식 3]

$$\omega_1(k) = \sum_{i=0}^k p_i, \quad \omega_2(k) = \sum_{i=k+1}^{L-1} p_i$$

[0045]

[0047] [수학적식 4]

$$\mu_1(k) = \sum_{i=0}^k \frac{ip_i}{\omega_1(k)}, \quad \mu_2(k) = \sum_{i=k+1}^{L-1} \frac{ip_i}{\omega_2(k)}$$

[0048]

[0050] Otsu's method에서, 결과 임계값의 성능은 전경과 배경 사이의 차이를 고려하여 측정될 수 있다. 이 기준을 사용하면, 최적 임계값 k^* 은 클래스 분산값 사이에서 최대가 되어야 한다 (하기 수학적식 5 참조).

[0052] [수학적식 5]

$$k^* = \arg \max_{0 \leq k \leq L-1} \{\omega_1(k)(\mu_1(k) - \mu_I)^2 + \omega_2(k)(\mu_2(k) - \mu_I)^2\}$$

[0053]

[0055] 또한, 최적 임계값을 계산하는 또다른 등가 공식은 다음의 수학적식 6과 같이 표현될 수 있다. 수학적식 6은 수학적식 5보다 간단하게 표현될 수 있다.

[0057] [수학적식 6]

$$k^* = \arg \max_{0 \leq k \leq L-1} \{\omega_1(k)\mu_1^2(k) + \omega_2(k)\mu_2^2(k)\}$$

[0058]

[0060] Otsu's method는 이미지의 객체가 크고 배경과 충분히 다를 때 적절한 결과를 제공할 수 있다. 더 구체적으로, Otsu's method는 히스토그램이 이봉분포 또는 다봉분포를 가지는 이미지에서 효과적일 수 있다. 그러나 육안 검사 시스템으로부터 얻을 수 있는 이미지의 히스토그램은 이미지의 크기와 비교하여 결함 영역이 작기 때문에 단봉분포인 것처럼 보이게 된다. 이러한 이미지의 특징은 Otsu's method를 통해 최적 임계값을 결정하는 것을 방해하며, 이에 따라 Otsu's method는 이러한 이미지의 결함 검출에 적절하지 않다.

[0061] 전술한 바와 같이 Otsu's method를 이용한 결함 검출과 관련하여 여러가지 개선책들이 제안되어 왔다. 기본적인 아이디어는 출력 임계값을 조정하기 위해 목적함수(objective function)인 수학적식 6에 가중치 W 를 추가하는 것이다. (수학적식 7 참조)

[0063] [수학적식 7]

$$k^* = \arg \max_{0 \leq k \leq L-1} \{W(\omega_1(k)\mu_1^2(k) + \omega_2(k)\mu_2^2(k))\}$$

[0064]

[0066] Otsu's method에 대한 가장 초기의 가중치법은 Valley-emphasis method이다. (수학식 8 참조)

[0068] [수학식 8]

$$k^* = \arg \max_{0 \leq k \leq L-1} \{ (1 - p_k) (\omega_1(k) \mu_1^2(k) + \omega_2(k) \mu_2^2(k)) \}$$

[0069]

[0071] 여기서 가중치 W 는 1 - p_k 이다. Valley-emphasis method의 핵심은 발생확률 (1 - p_k)를 보완하는 것이다. p_k 값이 더 작을수록(즉, gray value k 의 출현 확률이 낮을수록) 가중치는 더 커진다. 이러한 가중치는 출력 임계값이 항상 히스토그램의 valley 혹은 하단 경계에 있도록 하므로, "valley-emphasis" 라는 명칭이 붙게 되었다. 도 1은 결함 검출에 관한 Otsu's method 대비 valley-emphasis method의 효율을 나타낸다. 선택된 임계값은 도 2에서와 같이 수직으로 된 빨간색 선으로 표시될 수 있다.

[0072] Valley-emphasis method에 이어, 발생확률에도 사용되는 Otsu's method에 대한 가중치법이 제안되었다. 또한, Fisher's Linear Discriminant Analysis (LDA) 기반을 둔 가중치법도 있다. 도 3은 전술한 방법들을 구현한 결과의 임계값을 나타낸다.

[0073] 도 3에서와 같이, 전술한 방법들이 결함 검출의 정확성을 상당히 향상시킨다고 하더라도, 이러한 방법들의 수행은 안정적이지 않다. 더욱이, 일부 방법에서는 사용자가 수용 가능한 결과를 얻기 위해서 적절한 매개변수를 선택해야만 한다.

[0074] 정리하면, Otsu's method는 이봉분포(bimodal distribution) 또는 다봉분포(multimodal distribution)의 히스토그램을 임계화하는데 효과적이다. 오프 방법은 히스토그램이 단봉분포(unimodal distribution)이거나 단봉분포에 가까운 경우 적용되지 못한다. 따라서, 이러한 종래의 오프 방법은 일반적인 실제 이미지를 임계화하는데 만족스러운 결과를 제공할 수 있지만 입력 이미지의 특성(ex. 히스토그램이 단봉 분포 등)으로 인해 육안 검사 시스템에서는 적용되지 못한다. 실제 이미지의 히스토그램은 보통 이미지 크기에 비해 객체의 크기가 크기 때문에 일반적으로 다봉분포를 가지게 되는데, 이러한 특성을 이용하면 Otsu's method로 최적의 임계값을 보다 쉽게 결정할 수 있다. 그러나, 육안 검사 시스템으로부터 얻은 이미지의 히스토그램은 결함 영역의 크기 및 휘도의 균일성 때문에 보통 단봉 분포를 가지게 되고, 이는 Otsu's method를 이용하여 원하는 임계값을 식별하는 것을 방해한다. 결함 검출에 있어서 Otsu's method의 단점을 극복하기 위해 여러가지 개선책이 제안되어 왔지만, 이러한 개선책들은 몇 가지 경우들에 있어서, 특히, 미세한 크기의 결함을 검출하는 경우에 큰 실익을 거두지는 못하였다. 또한, 일부 방법은 사용자의 판단에 의하여 수동으로 할당해야 하는 매개 변수를 필요로 한다. 이러한 이유로 종래의 방법들은 다른 검사 시스템에 적용될 때 결함 검출의 신뢰성을 확실히 담보할 수 없다는 단점이 있다.

[0075] 본 발명의 일 실시예에 따른 엔트로피를 이용하여 이미지를 분석하는 방법 및 장치에서는 엔트로피 이론을 사용하고, 사용자 입력의 매개 변수를 별도로 필요로 하지 않는다는 점에서 이점이 있다. 또한, 이미지 분석 과정은 완전한 자동이며, 제품의 표면적에 비해 극히 작은 결함의 영역을 빠르고 정확하게 검출할 수도 있다.

[0076] 이하 첨부된 도면을 참고하여 본 발명을 상세히 설명하기로 한다.

[0077] 이미지 엔트로피는 이미지의 특성을 나타내는데 사용할 수 있는 임의성의 통계적 척도이다. 낮은 엔트로피 이미지는 정보가 거의 없고 일반적으로 비슷한 gray value를 가진 일련의 픽셀들을 포함한다. 모든 픽셀이 같은 gray value를 가진 이미지의 엔트로피는 0이 된다. 기존의 엔트로피 기반 가중치법에 있어서, Gray value k가 주어지면, 이미지의 후험적(posteriori) 엔트로피는 다음과 같이 정의될 수 있다:

[0079] [수학식 9]

$$H'_n = -P_k \ln P_k - (1 - P_k) \ln(1 - P_k)$$

[0080]

[0082] [수학식 10]

$$P_k = \sum_{i=0}^k p_i, \quad 1 - P_k = \sum_{i=k+1}^{L-1} p_i$$

[0083]

[0085] 만약 H'_n 을 최대로 한다면, 다음과 같은 자명한 결과를 획득할 수 있다. (수학식 11 참조)

[0087] [수학식 11]

$$P_k = 1 - P_k = \frac{1}{2}$$

[0088]

[0089]

[0090] 이러한 문제는 수학식 11을 목적함수로 변환함으로써 해결할 수 있다.

[0092] [수학식 12]

$$\psi(k) = \ln P_k(1 - P_k) + \frac{H_k}{P_k} + \frac{H_n - H_k}{1 - P_k}$$

[0093]

[0095] [수학식 13]

$$H_k = - \sum_{i=0}^k p_i \ln p_i, \quad H_n = - \sum_{i=0}^{L-1} p_i \ln p_i$$

[0096]

[0098] 최대값이 $\Psi(k)$ 인 gray value k 는 이미지 상 객체와 배경 사이의 구별을 극대화하기 때문에 임계값으로 사용될 수 있다. 그러나, 객체와 배경의 분포가 균일하다면, 수학식 12는 다음과 같이 표현될 수 있다.

[0100] [수학식 14]

$$\psi(k) = \ln k(L - 1 - k)$$

[0101]

[0103] 그리고, $k = 1/2(L - 1)$ 일 때, 최대값에 도달할 수 있다. 이러한 특성은 제품의 표면 결함 검출에 적용될 때 단점으로 작용할 수 있다. 도 4에 도시된 바와 같이, 제품 표면 이미지의 분포가 일반적으로 균일하기 때문에 이러한 특성은 결함 검출 알고리즘의 적응성을 감소시킨다는 문제점이 존재한다. 이러한 문제점을 극복하기 위해서 본 발명에서는 Otsu's method에 엔트로피 목적함수 $\Psi(k)$ 를 결합하였다. 즉, 수학식 7에서 가중치 W 를 목적함수 $\Psi(k)$ 로 대체하여 새로운 목적함수를 생성하였다.

[0105] [수학식 15]

$$k^* = \arg \max_{0 \leq k \leq L-1} \{ \psi(k)(\omega_1(k)\mu_1^2(k) + \omega_2(k)\mu_2^2(k)) \}$$

[0106]

[0108] 이러한 수학식 15를 이용하여, 임계값의 선택을 위한 최적의 값으로 k 를 획득할 수 있다. Otsu's method에 대한

본 발명에 적용된 가중치법의 기본 개념은 이미지 엔트로피와 임계화된 이미지의 클래스 간 분산을 동시에 최대화하는 것이다. 이는 육안 검사에서 가능한 한 많은 결함 영역을 표시하기 위함이다. 결함 영역은 제품의 표면적에 비해 극히 작고 무작위로 보이기 때문에, 이미지 엔트로피를 최대화하는 임계값은 또한 결함 영역에서 노출된 픽셀의 수를 최대화할 수 있다.

[0109] 본 발명의 일 실시예에 따른 엔트로피를 이용하여 이미지를 분석하는 방법은, 제품에 대한 이미지를 획득하는 단계(S100), 획득된 이미지에 대하여 엔트로피가 최대화되도록 수정된 오투(Otsu) 이진화를 수행하는 단계(S200), 이진화된 이미지에서 배경과 전경을 구분하는 단계(S300) 및 구분된 전경에 기초하여 이미지 상에서의 결함 유무를 판단하는 단계(S400)를 포함하고, 엔트로피가 최대화되도록 수정된 오투 이진화는 이미지 엔트로피와 임계화된 이미지의 클래스 간 분산이 동시에 최대화되도록 이미지를 이진화하는 것일 수 있다.

[0110] 또한, 수정된 오투 이진화는 이미지에 대한 클래스 간 분산이 최대가 되도록 하는 임계값의 추정 과정에서 아래의 수학적식에 의하여 이미지 엔트로피가 가중되어 추정되는 이진화이고,

$$k^* = \arg \max_{0 \leq k \leq L-1} \{ \psi(k)(\omega_1(k)\mu_1^2(k) + \omega_2(k)\mu_2^2(k)) \}$$

[0111]

[0112] k^* 는 임계값, $\psi(k)$ 는 이미지의 엔트로피 함수, L 은 그레이 레벨(gray level), $\omega_1(k)$ 는 제 1 클래스 발생 확률, $\mu_1(k)$ 는 제 1 클래스의 평균 그레이 값, $\omega_2(k)$ 는 제 2 클래스 발생 확률, $\mu_2(k)$ 는 제 2 클래스의 평균 그레이 값일 수 있다.

[0113] 본 발명의 일 실시예에 따른 제품에 대한 이미지는 제품의 표면 이미지이고, 사용자로부터 별도의 매개변수를 입력받음 없이 수정된 오투 이진화를 통하여 제품의 표면 이미지에서 결함 영역을 검출할 수 있다.

[0114] 본 발명의 일 실시예에 따른 엔트로피를 이용하여 이미지를 분석하는 장치(1000)는, 제품에 대한 이미지를 획득하는 이미지 획득부(100), 획득된 이미지에 대하여 엔트로피가 최대화되도록 수정된 오투(Otsu) 이진화를 수행하는 이미지 변환부(200) 및 이진화된 이미지에서 배경과 전경을 구분하고, 구분된 전경에 기초하여 이미지 상에서의 결함 유무를 판단하는 이미지 분석부(300)를 포함하고, 엔트로피가 최대화되도록 수정된 오투 이진화는 이미지 엔트로피와 임계화된 이미지의 클래스 간 분산이 동시에 최대화되도록 이미지를 이진화하는 것일 수 있다. 본 발명의 일 실시예에 따른 이미지 획득부(100)에는 카메라부(110) 및 조명부(120)가 포함될 수 있다.

[0115] 수정된 오투 이진화는 이미지에 대한 클래스 간 분산이 최대가 되도록 하는 임계값의 추정 과정에서 이미지 엔트로피가 가중되어 추정되는 이진화일 수 있다.

[0116] 또한, 제품에 대한 이미지는 제품의 표면 이미지이고, 사용자로부터 별도의 매개변수를 입력받음 없이 수정된 오투 이진화를 통하여 제품의 표면 이미지에서 결함 영역을 검출할 수 있다.

[0117] 제품 표면 이미지에서의 결함 검출에 있어서 본 발명의 일 실시예에 따른 방법의 효과(성능)에 대해서는 도 7과 같이 확인되었다. 도 1 및 도 3과 비교하여 본 발명의 일 실시예에 따른 방법이 우수한 성능을 나타냄이 확인되었다. 또한, 본 발명의 일 실시예에 따른 방법은 다양한 유형의 제품 표면 패턴에 적용될 때에도 안정적이고 확실한 성능이 나타남이 확인되었다.

[0118] 또한, 단일 이미지에 대하여 Otsu's method 및 4가지 가중치법을 도 8에서와 같이 성능 비교하였다. 매개변수를 지정해야 하는 방법에 대하여는, 권장 매개변수를 사용하였다.

[0119] 도 8의 (a)는 여러 방법을 비교하기 위해 몇 가지 결함 영역이 있는 샘플 테스트 이미지를 나타낸 것이고, 도 8의 (b) 내지 (g)는 전술한 여섯 가지 방법으로부터 획득된 임계화 결과를 나타낸다. 본 발명의 일 실시예에 따른 방법의 출력 임계값은 명확히 보이는 영역을 제외한 다른 결함 영역을 보여주지만 다른 방법들의 경우 검출에 실패하거나 명확한 영역만을 검출한다는 것을 확인할 수 있다.

[0120] 도 9는 도 8의 (a)에서 흰색 직사각형으로 표시된 영역의 확대된 부분을 나타낸다. Otsu's method와 Gaussian-weight valley-emphasis method는 샘플 테스트 이미지의 결함 영역을 검출하지 못하므로 도 9에서는 생략하였다.

[0121] 또한, 추가적인 평가를 위해 해상도가 3000 x 1500 픽셀이고 gray level이 $L = 256$ 인 10개의 동일한 크기의 웨

이퍼 이미지를 사용하였다. 각각의 이미지는 이미지 크기와 비교하여 매우 작은 크기의 결함 영역이 여러 개 존재한 상태였다. 그 결과는 표 1과 표 2에 나타나 있다. 표 1과 표 2에서 나타난 바와 같이, 본 발명의 일 실시예에 따른 방법으로 검출된 결함 영역은 다른 방법들에 의해 검출된 영역보다 많다. 또한, 본 발명의 일 실시예에 따른 방법의 출력 임계값은 가장 낮은 편차를 가지는 반면, 다른 방법들에 의한 출력 임계값은 상당한 편차를 가지는 것을 확인할 수 있다.

[표 1]

Table 1 Output thresholds

Image No.	Proposed method	Valley-emphasis	Neighbor VE	Fisher's LDA
1	61	53	53	53
2	85	87	110	105
3	82	99	107	102
4	83	90	119	114
5	85	102	101	102
6	82	103	112	107
7	84	89	102	89
8	87	119	123	119
9	60	57	57	57
10	83	87	95	90
Standard deviation	9.97	20.25	24.10	22.44

[표 2]

Table 2 Pixel counts of defect regions

Image No.	Proposed method	Valley-emphasis	Neighbor VE	Fisher's LDA
1	1032	3	3	3
2	67	54	0	0
3	149	2	0	0
4	52	9	0	0
5	179	114	115	114
6	382	1	0	0
7	78	67	37	67
8	1021	662	629	662
9	39	3	3	3
10	15	1	0	0

본 발명의 일 실시예에 따른 장치와 관련하여서는 전술한 방법에 대한 내용이 적용될 수 있다. 따라서, 장치와 관련하여, 전술한 방법에 대한 내용과 동일한 내용에 대하여는 설명을 생략하였다.

한편, 전술한 방법은 컴퓨터에서 실행될 수 있는 프로그램으로 작성 가능하고, 컴퓨터 판독 가능 매체를 이용하여 상기 프로그램을 동작시키는 범용 디지털 컴퓨터에서 구현될 수 있다. 또한, 상술한 방법에서 사용된 데이터의 구조는 컴퓨터 판독 가능 매체에 여러 수단을 통하여 기록될 수 있다. 본 발명의 다양한 방법들을 수행하기 위한 실행 가능한 컴퓨터 프로그램이나 코드를 기록하는 기록 매체는, 반송파(carrier waves)나 신호들과 같이 일시적인 대상들은 포함하는 것으로 이해되지는 않아야 한다. 상기 컴퓨터 판독 가능 매체는 마그네틱 저장매체(예를 들면, 롬, 플로피 디스크, 하드 디스크 등), 광학적 판독 매체(예를 들면, 시디롬, DVD 등)와 같은 저장

매체를 포함할 수 있다.

[0131] 전술한 본 발명의 설명은 예시를 위한 것이며, 본 발명이 속하는 기술분야의 통상의 지식을 가진 자는 본 발명의 기술적 사상이나 필수적인 특징을 변경하지 않고서 다른 구체적인 형태로 쉽게 변형이 가능하다는 것을 이해할 수 있을 것이다. 그러므로 이상에서 기술한 실시예들은 모든 면에서 예시적인 것이며 한정적이 아닌 것으로 이해해야만 한다. 예를 들어, 단일형으로 설명되어 있는 각 구성 요소는 분산되어 실시될 수도 있으며, 마찬가지로 분산된 것으로 설명되어 있는 구성 요소들도 결합된 형태로 실시될 수 있다.

[0132] 본 발명의 범위는 상기 상세한 설명보다는 후술하는 특허청구범위에 의하여 나타내어지며, 특허청구범위의 의미 및 범위 그리고 그 균등 개념으로부터 도출되는 모든 변경 또는 변형된 형태가 본 발명의 범위에 포함되는 것으로 해석되어야 한다.

부호의 설명

[0134]

100: 이미지 획득부	110: 카메라부
120: 조명부	
200: 이미지 변환부	300: 이미지 분석부
1000: 엔트로피 이용 이미지 분석 장치	

도면

도면1



(a) Original image

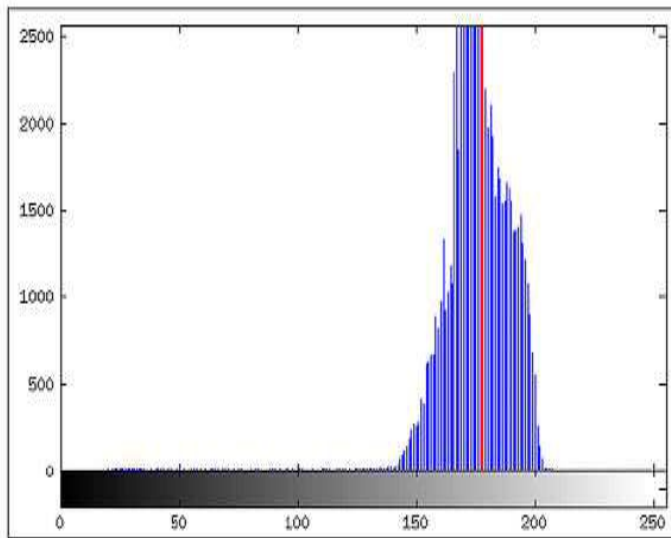


(b) Result from Otsu's method

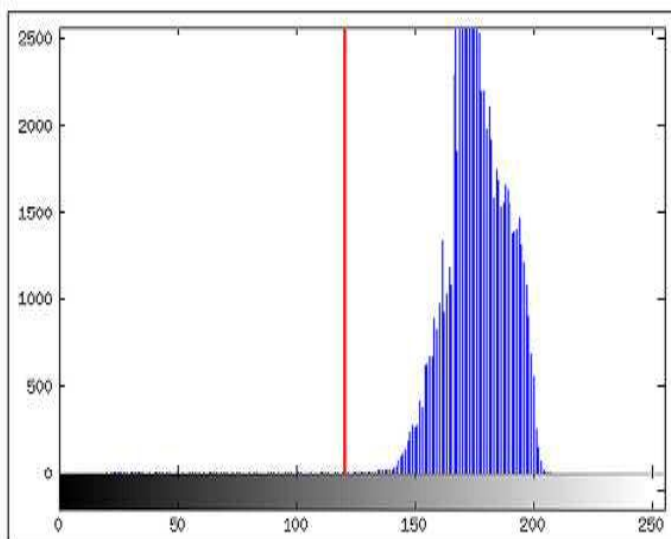


(c) Result from valley-emphasis method

도면2

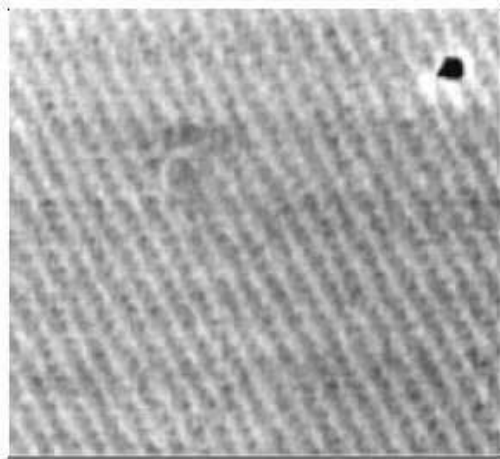


(a) Threshold from Otsu's method

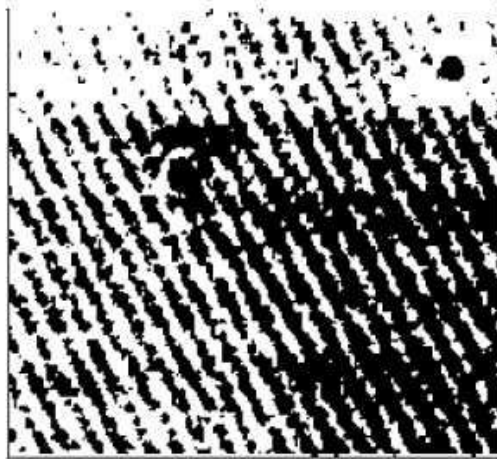


(b) Threshold from valley-emphasis method

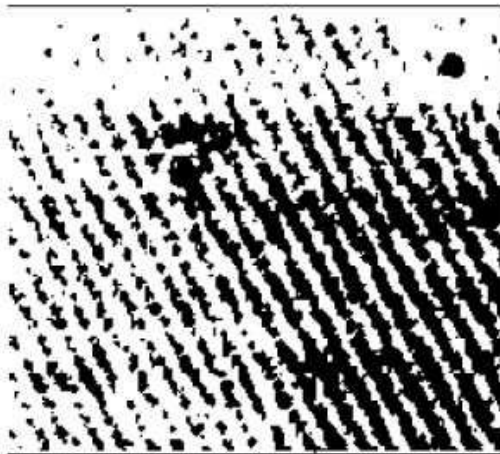
도면3



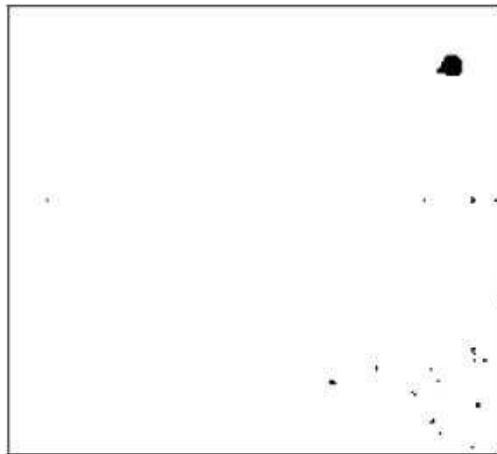
(a) Original image



(b) Otsu's method

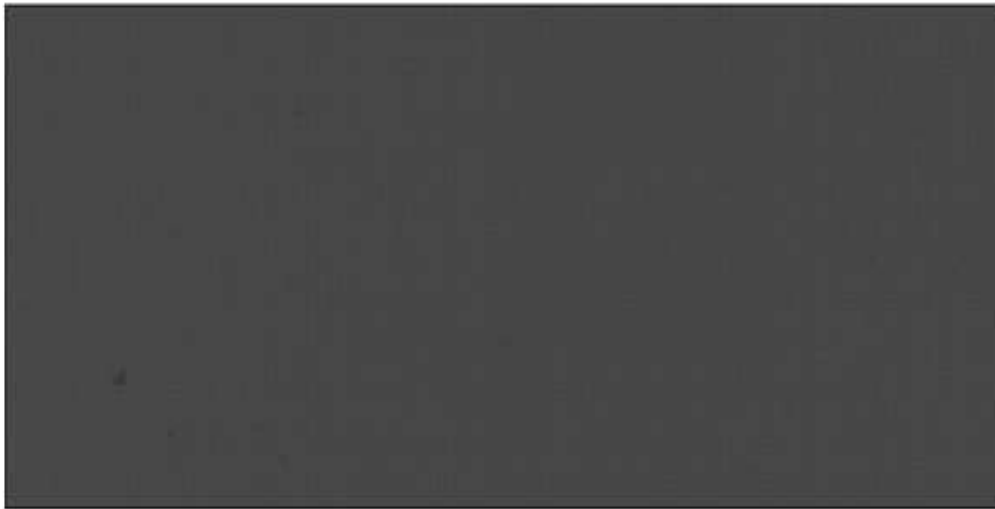


(c) Valley-emphasis

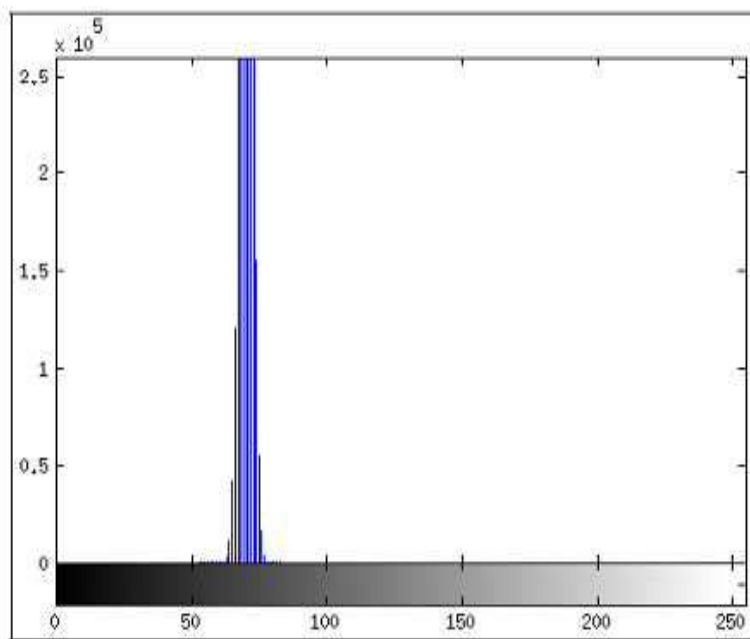


(d) Fisher's LDA

도면4

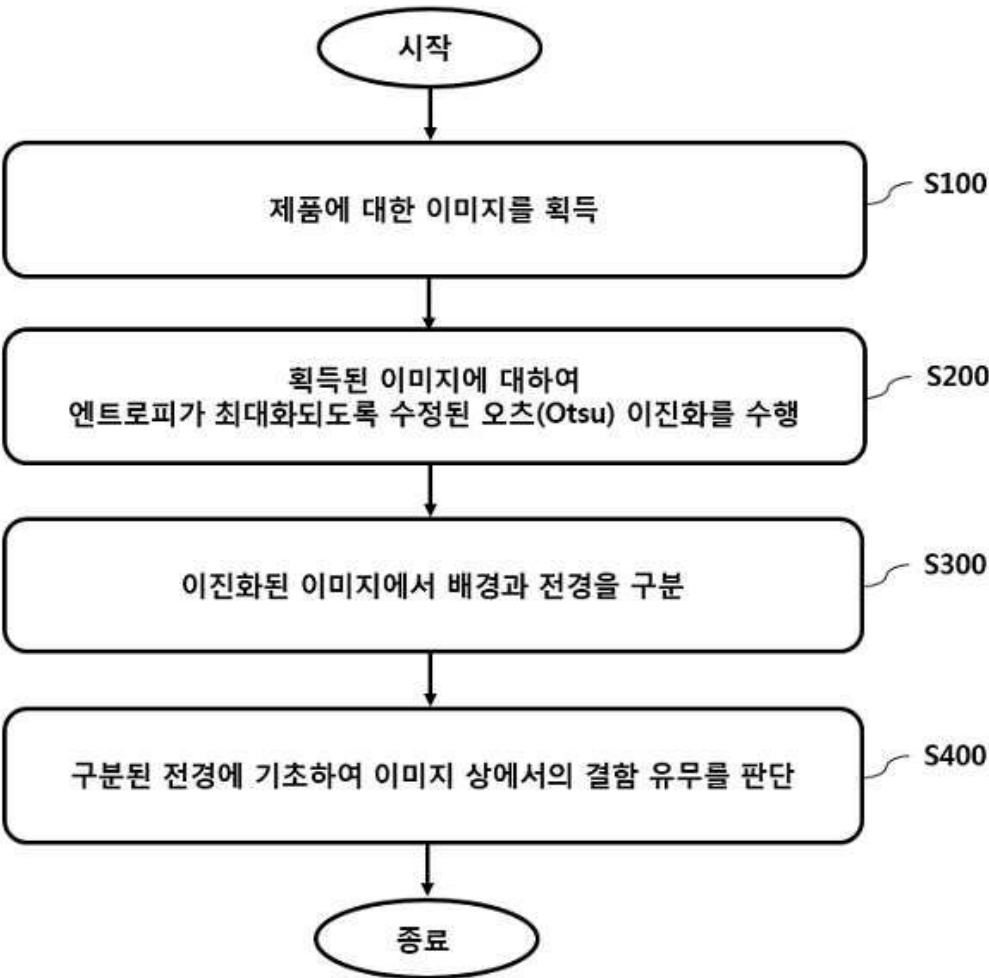


(a)

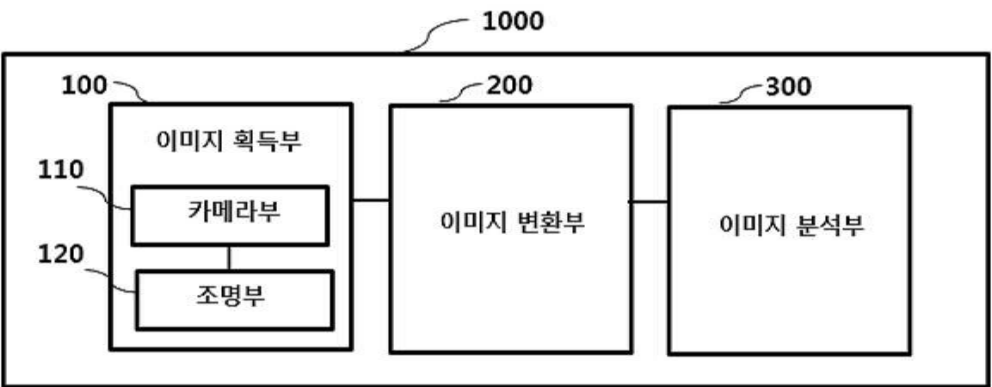


(b)

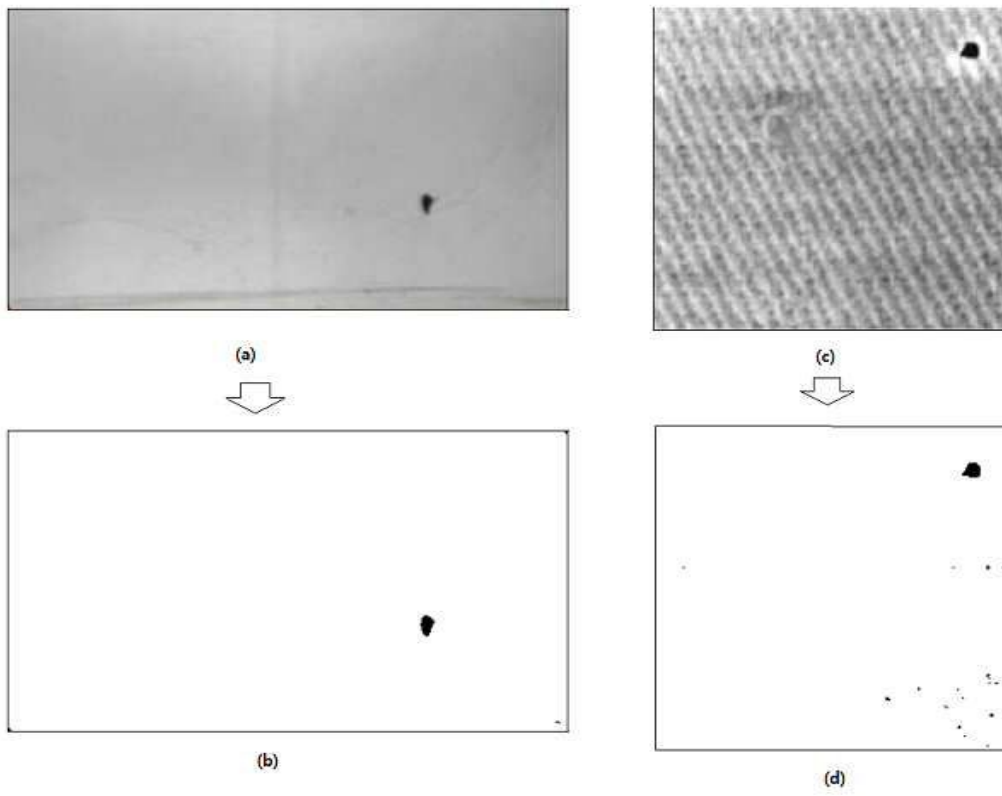
도면5



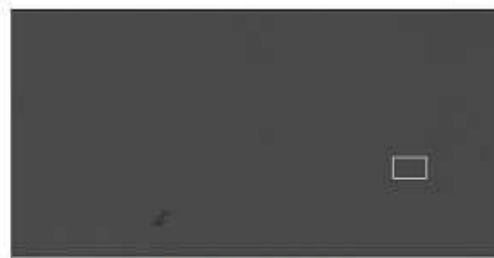
도면6



도면7



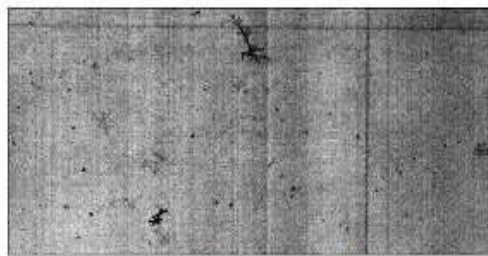
도면8



(a) Sample test image



(b) Proposed method



(c) Otsu's method



(d) Valley-emphasis



(e) Neighborhood valley-emphasis, 11 neighbors



(f) Gaussian-weight valley-emphasis, $\sigma = 5$



(g) Fisher's LDA

도면9

