2000년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집 2000.7.17-20

냉연 강판의 개별 흠 분리를 위한 고속 레이블링에 관한 연구

김경민*, 박중조**
*여수대학교 전기공학과, **경상대학교 제어계측공학과

Fast labeling algorithm for the surface defect inspection of Cold Mill Strip

Kyung-Min Kim*, Joo-Jo Park**
*Dept.of Electrical Eng. Yosu National Univ. **Gyungsang National Univ.

Abstract - This paper describes a fast image labeling algorithm for the feature extraction of connected components. Labeling the connected regions of a digitized image is a fundamental computation in image analysis and machine vision, with a large number of application that can be found in various literature. This algorithm is designed for the surface defect inspection of Cold Mill Strip. The labeling algorithm permits to separate all of the connected components appearing on the Cold Mill Strip.

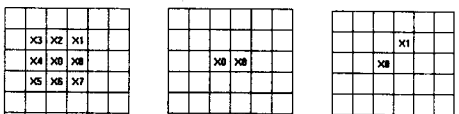
1. 서 론

같은 연결성분에 속하는 모든 화소에 같은 레이블(번호)을 할당하고, 다른 연결 성분에는 다른 레이블을 할당하는 조작을 연결 성분의 레이블링(labeling)이라고 한다. 연결 성분의 개개의 속성을 해석하기 전에 각 성분을 추출하기 위한 레이블링 조작은 불가결하다. 기존의 방법으로는 화면의 좌상단으로부터 스캔을 순서대로 하는 순차형 레이블링(sequential labelling)이 제시되었고, 하드웨어적으로 pipeline을 이용한 방법도 제시되어 되었는데, 이 때의 속도는 pipeline 단계의 수에 비례하는 제한적 속도 향상도 가져왔다. Divide and conquer 방법을 이용한 병렬 레이블링 방법도 제시되었다. 그러나 이 방법들은 화소단위로 처리하기 때문에 그 속도의 한계가 있으며 Chen, Sunwoo 등에 의해 라인 단위의 처리 기법이 제시되었다. 본 논문에서는 이러한 라인 단위 처리 기법을 소개하고, 이를 수정하여 순차적으로 라인 단위를 처리하는 알고리듬을 제시하고자 한다. 그리고 이를 냉연의 강판 표면 흠의 개별 분리에 적용하여 제안된 알고리듬에 대한 타당성을 입증하였다.

2. 본 론

2.1 순차형 레이블링

기존의 레이블링 알고리듬은 영상내의 각 화소의 연결성을 조사하여 영상 내에 존재하는 물체를 각각 분리해 내는 기법이다. 이 레이블링 알고리듬은 이치 영상의 연결 관계를 조사하여 영상내의 도형의 특징을 해석하는 중요한 과정이다. 그리하여 어떤 근방(neighbor)을 사용하는가에 따라서 기존의 레이블링 알고리듬은 그 결과가 달라지는데 대표적인 근방에는 4-근방과 8-근방이 있다. 이에 대한 정의는 다음과 같다.



(a) 4인접 (b) 8인접

그림 1 근방과 인접

(1) 4-근방(4-neighbor)

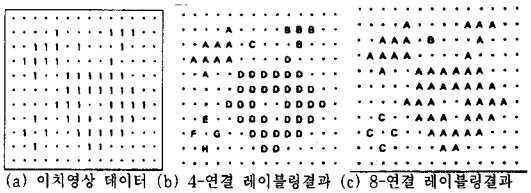
$$F(i,j) \triangleq \{ (i+1,j),(i,j+1),(i-1,j),(i,j-1) \}$$

(2) 8-근방(8-neighbor)

$$F(i,j) \triangleq \{ (i+1,j),(i,j+1),(i-1,j),(i,j-1) (i+1,j+1),(i-1,j+1),(i+1,j-1),(i-1,j-1) \}$$

만약 2개의 화소가 4-근방에 존재한다면 4-인접(4-adjacent)라고 하고 8-근방에 존재한다면 8-인접(8-adjacent)이라고 한다. 어떤 이치 영상에서 4-인접이나 8-인접되어 있는 화소들의 집합을 연결 성분이라고 하며 그 적용 근방에 따라서 4-연결과 8-연결로 나눠질 수가 있다. 레이블링은 이러한 각각의 연결 성분에 대해 다른 이름의 라벨을 할당하는 것으로 각 연결 성분의 특징을 조사하기 위해서 가장 먼저 수행되어야 한다.

다음은 4-연결과 8-연결에 이어서 각각 레이블링 한 예이다.



(a) 이치영상 데이터 (b) 4-연결 레이블링결과 (c) 8-연결 레이블링결과

그림 2 레이블링의 예

4-연결과 8-연결에 의한 레이블링 알고리듬은 다음과 같다.

첫째, 전체 화면을 scan하면서 각각의 0이 아닌 화소에 대하여 라벨값 v를 부여한다. 라벨값 v는 근방 화소의 값에 따라 부여된다. 실제로는 화면의 좌상단에서부터 scan을 하므로 근방 화소의 값을 조사할 때는 모든 근방을 조사하는 것이 아니라 좌상단의 근방만 조사하면 된다. 이때 쓰이는 mask는 다음과 같다.

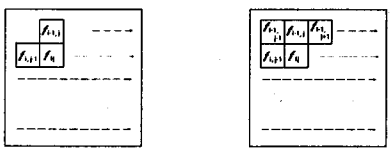


그림 3 scan시 사용되는 mask

만약 근방에 화소가 존재하지 않아 연결성이 만족되지 않는다면 새로운 값을 부여하며, 근방에 0이 아닌 라벨값이 존재하면 근방에 있는 동일한 라벨값을 부여한다. 그리고 근방에 0이 아닌 라벨값이 각각 다른 값으로 2개 이상 존재할 때는(label collision) 각각의 값에서 가장 작은 값을 부여한다.

둘째, 전체 영상을 다시 scan하면서 label collision으로 인해 같은 연결 성분인데도 다른 라벨값이 붙어 있는 화소들을 임시로 저장한 다음 이들을 sort하여 연결 성분 중에서 가장 작은 값으로 치환한다.

2.2 수정된 고속 레이블링 (Modified fast labeling)

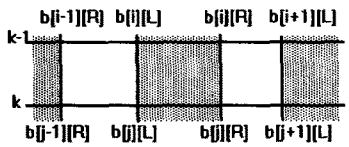
순차형 레이블링 방법은 영상의 각각의 화소에 대하여 연산을 행하는 것이나 고속 레이블링은 경계점만 가지고 연산을 행하여 화소들의 연속성을 알아내는 방법이다. 즉 대상물에 대하여 모든 화소를 조사하는 것이 아니라 대상물을 구성하는 경계 성분만 조사하여 대상물을 빠르게 인식할 수 있다. 여기서 사용되어지는 경계 성분은 대상물(object)의 연속하는 임의의 두 라인에서의 경계점을 이루는 양 끝점들이다. 즉 모든 경계점들을 한꺼번에 비교하는 것이 아니라 연속하는 두 라인에서의 경계점들을 순차적으로 조사함으로써 그들의 연속성을 알아낸다. 만약 경계점이 서로 연속된 것이라면 당연히 그 내부의 점들도 연속된 것들일 것이다. 순차형 라벨링은 연결성을 조사하기 위하여 모든 점에 대하여 조건들을 만족하는지 조사하였으나 고속 레이블링은 경계성분만 조사하기 때문에 내용은 다소 복잡하지만 비교 대상이 줄어듦으로서 처리 시간을 단축할 수 있다. 일반적으로 레이블링은 대상체로 인식하여 이에 대한 특징량을 뽑아내기 위한 첫 단계로 사용된다. 그러므로 레이블링은 특징량 추출과 함께 이루어 지는데 본 논문에서 제안된 방법은 레이블링과 함께 특징량 연산을 동시에 할 수 있기 때문에 레이블링 자체의 시간 절약 뿐만 아니라 특징량 연산 시간도 줄일 수 있다.

이러한 고속 레이블링 방법이 Sunwoo와 Chen등에 의해 소개되었는데 우리는 이 논문에서 이러한 병렬 레이블링 기본개념을 수정보완하여 고속 레이블링 알고리듬을 제시하고자 한다. 고속 레이블링 기본 개념은 다음과 같다.

2.2.1 경계점 연속 검사 (Boundary continuation examination)

두 line에서 각각의 경계점들 사이의 연속성을 알아내기 위하여 경계점 연속을 만족하는 부등식을 사용한다. 즉 실험 영상의 연속하는 두 라인의 경계점을 구성하는 경계점을 가지고 연속성을 조사해 낸다. 두 line의 경계점의 연속성이 증명이 되면 두 라인의 경계점에는 같은 라벨을 붙이게 되어 그 내부의 점들도 연결된 것으로 본다. 이러한 경계점 연속에는 좌측 경계점 연속(left boundary continutaion)과 우측 경계점 연속(right boundary continuation)으로 나눠진다.

가. 좌측 경계점 연속

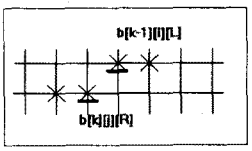


좌측 경계점 연속성의 기본 부등식은 다음과 같고 식 F_{L1}과 F_{L2}는 k-1라인을 기준으로 k라인과 비교하며 식 F_{L3}과 F_{L4}는 k라인을 기준으로 k-1라인과 비교한다.

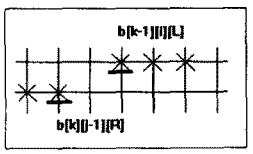
- F_{L1}: $b[k-1][i][L] > b[k][j-1][R]+1$ (2.1.a)
- F_{L2}: $b[k-1][i][L] \le b[k][j][R]+1$ (2.1.b)
- F_{L3}: $b[k][j][L] > b[k-1][i-1][R]+1$ (2.2.a)
- F_{L4}: $b[k][j][L] \le b[k-1][i][R]+1$ (2.2.b)

(여기서 $b[k][j][L]$: k라인의 j번째 좌측 경계점.
$b[k-1][i-1][R]$: k-1라인의 i-1번째 우측 경계점.)

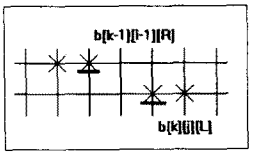
각각의 부등식을 설명하는 그림은 다음과 같다.



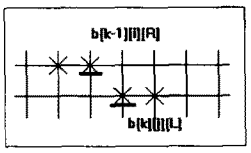
F_{L1} $b[k][j-1][R]$가 최대인 경우



F_{L2}, $b[k][j][R]$가 최소인 경우



F_{L3} $b[k-1][i-1][R]$가 최대인 경우



F_{L4}, $b[k-1][i][R]$가 최대인 경우

다음 조건을 만족하면 k-1라인의 i번째 좌측 경계점과 k라인의 j번째 좌측 경계점이 연속이다.

$$F_L = F_{L1} \cap F_{L2} \cap F_{L3} \cap F_{L4} \quad (2.3)$$

위의 식을 만족하면 좌측 경계점 연속 조건이 되고 좌측 경계점에 같은 라벨을 붙인다.

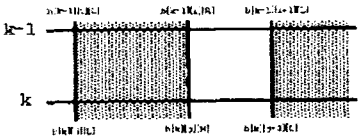
좌측 경계점의 연속성 검사 순서는 다음과 같다.

① k-1라인을 기준으로 식 F_{L1}과 F_{L2}에 의해 k라인의 j를 찾아낸다.

② k라인의 j번째 좌측 경계점으로부터 식 F_{L3}과 F_{L4}에 의해 k-1라인의 우측 경계점과 비교하여 k라인의 j번째 좌측 경계점과 k-1라인의 i번째 좌측 경계점이 연속인지를 검사한다.

$F_{L1} \rightarrow F_{L2} \rightarrow F_{L3} \rightarrow F_{L4}$: 검사 순서

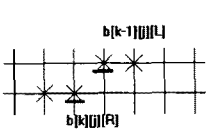
나. 우측 경계점 연속

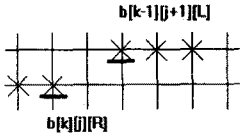


우측 경계점의 연속성의 기본 부등식은 다음과 같고 식 F_{R1}과 F_{R2}는 k라인을 기준으로 k-1라인과 비교하며 식 F_{R3}과 F_{R4}는 k-1라인을 기준으로 k라인과 비교한다.

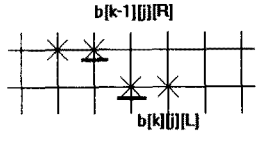
- F_{R1}: $b[k][j][R]+1 \ge b[k-1][i][L]$ (2.4.a)
- F_{R2}: $b[k][j][R]+1 < b[k-1][i+1][L]$ (2.4.b)
- F_{R3}: $b[k-1][i][R]+1 \ge b[k][j][L]$ (2.5.a)
- F_{R4}: $b[k-1][i][R]+1 < b[k][j+1][L]$ (2.5.b)

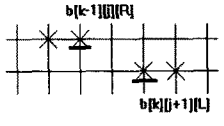
각각의 부등식을 설명하는 그림은 다음과 같다.





F_{R1}: $b[k-1][i][L]$가 최대인 경우 F_{R2}, $b[k-1][i+1][L]$가 최소인 경우





F_{R3}, $b[k][j][L]$가 최대인 경우 F_{R4} $b[k][j+1][L]$가 최소인 경우

다음 조건을 만족하면 k-1라인의 i번째 우측 경계점과 k라인의 j번째 우측 경계점이 연속이다.

$$F_R = F_{R1} \cap F_{R2} \cap F_{R3} \cap F_{R4} \quad (2.6)$$

위의 식을 만족하면 우측 경계점 연속 조건이 되고 우측 경계점에 같은 라벨을 붙인다.

우측 경계점의 연속성 검사 순서는 다음과 같다.

① k라인을 기준으로 식 F_{R1}과 F_{R2}에 의해 k-1라인의 i를 찾아낸다.

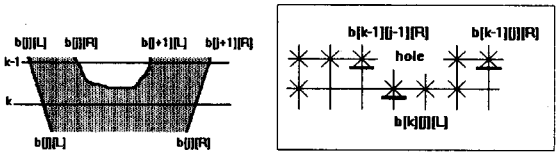
② k-1라인의 i번째 우측 경계점으로부터 식 F_{R3}과 F_{R4}에 의해 k라인의 좌측 경계점과 비교하여 k라인의 j번째 우측 경계점과 k-1라인의 우측 경계점이 연속인지를 검사한다.

$F_{R1} \rightarrow F_{R2} \rightarrow F_{R3} \rightarrow F_{R4}$: 검사 순서

2.2.2 종결(Termination) 검사

종결에는 hole의 종결과 대상체(object)의 종결이 있다. Hole의 종결은 k-1라인에서 hole이 끝나는 것을 의미하며 대상체의 종결은 k-1라인에서 대상체가 끝나는 것을 의미한다.

가. Hole의 종결



F_{Th}: $b[k-1][i-1][R]$가 최소인 경우

Hole의 종결을 나타내는 부등식은 다음과 같고 식 F_{Th}는 k라인을 기준으로 k-1라인과 비교한다.

· F_{Th} : $b[k][j][L] \le b[k-1][i-1][R]+1$ or F^{C}_{L3} (2.7)

다음 조건을 만족하면 k-1라인에서 i-1번째 우측 경계점과 i번째 좌측 경계점 사이에 hole이 종결된다.

$$F = F_{L1} \cap F_{L2} \cap F^{C}_{L3} \quad (2.8)$$

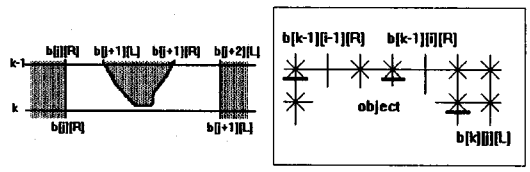
Chen에 의해 제시된 식은 F^{C}_{L3}식 하나뿐이나 실제 알고리듬 상에서는 $F_{L1} \cap F_{L2} \cap F^{C}_{L3}$가 만족되어야 hole의 종결 조건이 만족됨을 알수 있다.

Hole의 종결 검사 순서는 다음과 같다.

① k-1라인을 기준으로 식 F_{L1}과 F_{L2}에 의해 k라인의 j를 찾아낸다.

② k라인의 j번째 좌측 경계점으로부터 식 F^{C}_{L3}에 의해 k-1라인의 i-1번째 우측 경계점과 비교하여 hole이 종결되는지를 검사한다.

나. 대상체의 종결



F_{To}: $b[k-1][i][R]$이 최대인 경우

대상체의 종결을 나타내는 Chen의 부등식은 다음과 같다.

F_{To} : $b[k-1][i][L] > b[k][j][R]+1$ or F^{C}_{L2} (2.9)

본 논문에서 제안된 부등식은 다음과 같고 식 F_{To}는 k라인을 기준으로 k-1번째 라인과 비교한다.

F_{To}' : $b[k][j][L] > b[k-1][i][R]+1$ or F^{C}_{L4} (2.10)

부등식을 설명하는 그림은 다음과 같다.

다음 조건을 만족하면 k-1라인에서 대상체가 종결된다.

$$F = F_{L1} \cap F_{L2} \cap F^{C}_{L4} \quad (2.11)$$

이 식을 알고리듬에 적용함으로써 대상체의 종결을 찾을 때는 좌측 경계점 검출과 hole의 종결 검출과 함께 순차적으로 수행할 수 있게 하였다.

대상체의 종결 검사 순서는 다음과 같다.

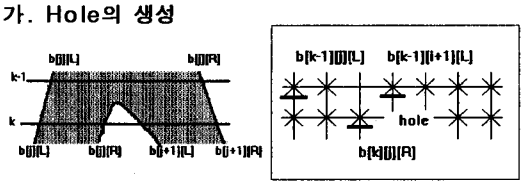
① k-1라인을 기준으로 식 F_{L1}과 F_{L2}에 의해 k라인의 j를 찾아낸다.

② k라인의 j번째 좌측 경계점으로부터 식 F^{C}_{L4}에 의해 k-1라인의 i번째 우측 경계점과 비교하여 대상체의 종결을 검사한다.

2.2.3 생성(Creation) 검사

생성이란 k라인에서 hole이나 대상체가 시작되는 것을 말한다. 이러한 생성에는 hole의 생성과 대상체의 생성이 있다.

가. Hole의 생성



F_{Ch}, $b[k][j+1][L]$이 최대인 경우

Hole의 생성을 나타내는 부등식은 다음과 같고 식 F_{Ch}는 k-1라인을 기준으로 k라인과 비교한다.

· F_{Ch} : $b[k-1][i][R]+1 \ge b[k][j+1][L]$ or F^{C}_{R4} (2.12)

부등식을 나타내는 위의 그림과 같다.

다음 조건을 만족하면 k번 째 라인에서 hole이 생성된다.

$$F = F_{R1} \cap F_{R2} \cap F^{C}_{R4} \quad (2.13)$$

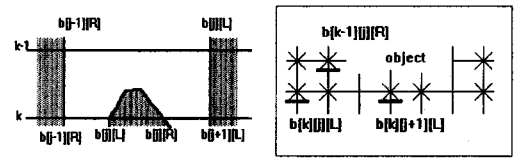
Chen은 F^{C}_{R4}식 단독으로 사용하였으나 실제로 알고리듬에서는 $F_{R1} \cap F_{R2} \cap F^{C}_{R4}$이어야 hole의 생성이 검출되었고 우측 경계점 검출과 함께 순차적으로 알고리듬을 수행할 수 있었다.

Hole의 생성 검사는 다음과 같다.

① k번째 라인을 기준으로 식 F_{R1}과 F_{R2}에 의해 k-1번째 라인의 i를 찾아낸다.

② k-1번째 라인의 i번째 우측 경계점으로부터 식 F^{C}_{R4}에 의해 k번째 라인의 j+1번째 좌측 경계점과 비교하여 hole의 생성을 검출한다.

나. 대상체의 생성



F_{Co}, $b[k][j][L]$이 최소인 경우

Chen에 의해 쓰인 대상체의 종결을 나타내는 부등식은 다음과 같다.

F_{Co} : $b[k-1][i][L] > b[k][j][R]+1$ or F^{C}_{R1} (2.14)

본 논문에서 제안된 식은 다음과 같고 식 F_{Co}'는 k-1

번째 라인을 기준으로 k번째 라인과 비교한다.

· F_{C0}': $b[k-1][i][R]+1<b[k][j][L]$ or F^{C}_{R3} (2.15)
다음 식을 만족하면 k라인에서 대상체가 생성된다.

$$F=F_{R1}\cap F_{R2}\cap F^{C}_{R3} \quad (2.16)$$

대상체의 생성 검사 순서는 다음과 같다.

① k라인을 기준으로 식 F_{R1}과 F_{R2}에 의해 k-1라인의 I를 찾아낸다.

② k-1라인의 i번째 우측 경계점으로부터 식 F^{C}_{R3}에 의해 k라인의 j+1번째 좌측 경계점과 비교하여 대상체의 생성을 검출한다.

2.3. 검사 순서

이상의 부등식을 살펴보면 좌측 경계점과 종결은 k-1라인을 기준으로 k라인과 비교하여 각 조건을 검사하고 우측 경계점과 생성은 k라인을 기준으로 k-1라인과 비교하여 각 조건을 검사하였다.

3. 실험 및 결론

본 연구에서는 기존의 순차적 레이블링과 고속 레이블링의 속도를 비교해 보았다. 비교대상으로 쓰인 영상은 20장의 냉연 표면흠으로써 전처리를 거친 영상이다. 이 영상들은 전처리와 레이블링을 거친 후 특징량 추출을 통해 대상체를 인식하는 과정을 거친다. 본 연구에서는 레이블링 자체의 속도뿐만 아니라 특징량 추출을 동시에 수행했을 때의 속도도 비교해 보았으며, 고속 레이블링 알고리듬은 경계선을 가지고 처리하기 때문에 빠른시간으로 특징량들을 쉽게 구할 수 있다. 냉연 표면흠 영상에 쓰인 특징량은 총 7개로 동시 발생행렬, 모멘트 3개, 기하학적 특징량 3개를 사용하였으며, 이러한 특징량들은 대상체의 내부의 정보에도 의존하나 이치 영상인 경우는 경계선의 정보에만 의존하기 때문에 내부의 점들을 고려할 필요가 없게 된다. 그러므로 이치 영상을 처리할 경우에는 고속 레이블링을 사용하여 특징량을 뽑아내면 처리시간을 더 절약할 수 있는 이점을 가지게 된다. 실험에 사용한 영상은 다음과 같다.

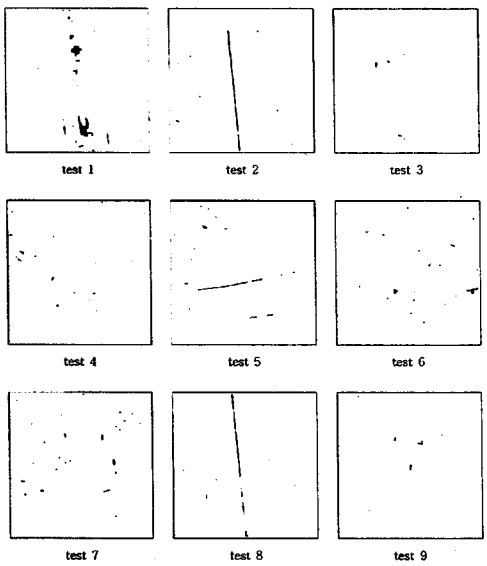


그림 4 실험에 사용된 영상

이 영상을 가지고 레이블링을 통해 가장 큰 대상체를 추출하여 이에 대한 특징량을 구하였다. 각 테스트 영상에 대한 속도 비교는 다음과 같다.

표 1 각 test 영상별 레이블링과 특징량 처리시간

		처리시간 (누적)			
		레이블링	동시발생행렬	기하학적 특징	모멘트
test1	순차형 레이블링	1.483	2.032	4.888	5.548
	고속 레이블링	0.824	0.824	1.318	1.318
test6	순차형 레이블링	1.483	2.032	4.888	5.548
	고속 레이블링	0.769	0.769	1.263	1.263
test10	순차형 레이블링	1.483	2.032	4.833	5.493
	고속 레이블링	0.769	0.769	1.263	1.263

표1에서와 같이 레이블링 자체의 시간 비교에서는 순차적 레이블링에 비해 본 논문에서 제안한 고속 레이블링의 처리 시간이 약 2배 정도 빠른 것으로 나타났으며, 특징량을 추가할 때마다 처리시간의 차이는 더 뚜렷해짐을 알 수가 있다. 20개의 영상을 통해 검토한 결과 레이블링과 7개의 특징량을 모두 구했을 때의 처리 시간은 약 4.4의 차이가 남을 실험을 통해 검증하였다.

본 연구에서는 기존의 고속 레이블링 알고리듬을 수정 보완하여 제시하였으며, 이를 실시간 처리를 요하는 냉연 강판의 흠 검출을 위한 특징량 추출과정에 도입하였다. 또한 제안된 고속 레이블링 알고리듬을 실제 냉연 강판의 전처리된 영상에 적용하여 기존의 순차형 레이블링방법에 비해 처리 시간이 월등함을 입증하였다.

본 연구에서 제안된 레이블링 알고리듬은 특징량 추출을 동시에 수행할 경우에 더욱 효과를 나타냄을 실험을 통해 입증하였다.

[참 고 문 헌]

[1] W.B.Chen et. al., "Areal-time parallel algorithm for the feature extraction of connected components", ICARCV, pp.1163-1167, 1994

[2] H.M.Alnuweiri,V.K. Prasanna Kumar,"Fast image labeling using local operators on mesh-connected computers", IEEE Tran. on PAMI, Vol. 13, No. 2, 1991

[3] M.H.Sunnwoo, B.S.Baroody, and J.K.Aggarwal,"A parallel algorithm for region labeling", in Proc. IEEE Workshop Comput. Architecture Patt. Anal. Machine Intel., pp.27-34, 1987

[4] H.M.Alnuweiri, V.K. Prasanna Kumar, "Parallel architectures and algorithms image component labeling", IEEE Tran. on PAMI, Vol. 14, No. 10, 1992

[4] M.H.Sunnwoo, B.S.Baroody, and J.K.Aggarwal,"A parallel algorithm for region labeling", in Proc. IEEE Workshop Comput. Architecture Patt. Anal. Machine Intel., pp.27-34, 1987

※ 본 논문은 과학기술부 · 한국과학재단 지정 여수대학교 설비자동화 및 정보시스템 연구개발 센터 연구비 지원에 의한 것임.