

論文 96-33B-4-15

수리 형태론을 이용한 texture 영상의 방향성 결함검출

(A Directional Defect Detection in Texture Image Using Mathematical Morphology)

金翰均*, 尹楨敏*, 吳胄煥***, 崔太永**

(Han Gyoon Kim, Jung Min Youn, Ju Hwan Oh, and Tae Young Choi)

요 약

본 논문에서는 texture 영상에서 배경영상과 동일한 방향을 갖는 결함에 대하여 보다 개선된 형태론적 알고리즘을 제안하였다. 이 알고리즘은 배경영상을 얻기 위하여 결함과 다른 나머지 방향들에 대하여 형태론적 연산을 한 후 서로 비교(최대값, 최소값)함으로써 결함이 제거된 배경영상을 얻는 것에 기초하고 있다. 결국, 결함은 원영상과 또는 결함방향으로 형태론적 연산을 한 영상과 배경영상의 차로 구할 수 있다. 컴퓨터 모의 실험 결과, texture와 동일한 방향의 결함에 대하여 제안한 알고리즘의 결함검출 성능이 기존 방식들보다 우수함을 볼 수 있었다.

Abstract

In this paper an improved morphological algorithm for directional defect detection is proposed, where the defect is parallel to the texture image. The algorithm is based on obtaining the background image while removing the defect by comparing every directional morphological result with max or min except that of defect. The defect can be detected by the difference of the original image or morphological processed image of direction of defect and the background image. For a computer simulation, it is shown that the proposed method has better performance than the conventional algorithm.

I. 서 론

제조공정에서 생산품의 품질검사는 생산과정에서 가장 중요한 단계가 되었고, 생산품의 신뢰도는 대량생산에서 매우 중요한 요소가 된다. 이에 따라, 인간의 불안정한 시각감지기능을 보완할 수 있는 자동결함검출 시스템 개발이 영상신호처리의 가장 중요한 산업응용 분야로 대두되었다.

일반적으로 결함(defect)이란 영상에서 이질성분을 말하는 것으로 밝기, 형태, 구조의 측면에서 바라는 영상, 또는 일정한 형태의 패턴을 깨뜨리는 요소를 말한다. 그러므로 수리형태론(mathematical morphology)은 결함과 같은 이질적인 형태를 보존하여 추출하는 자동시각검사분야에 매우 효과적으로 적용될 수 있다.

대표적인 결함검출방식은 대비강조(contrast enhancement)에 기초한 영상분해방식을 들 수 있다^{1,2,3}

1. 그러나 이들 알고리즘들 중, texture 영상을 위한 방향성 결함검출 알고리즘은 결함자체의 방향보다 배경영상의 방향만 고려하였기 때문에 이 알고리즘은 크기가 큰 방향성 결함에 대하여 결함이 검출되지 않게 된다.

이에 본 논문에서는 texture 영상과 동일한 방향성 결함에 대하여 보다 개선된 형태론적 알고리즘을 제시

* 準會員, ** 正會員, 亞州大學校 電子工學科

(Dept. of Elec. Eng., Ajou Univ.)

*** 正會員, 大邱專門大學 電算科

(Dept. of Comp. Science, Daegu Junior College)

※ 이 논문은 1993년도 한국학술진흥재단의 대학부설

연구소 연구과제 연구비에 의하여 연구되었음.

接受日: 1994년 12월 31일, 수정완료일: 1996년 3월 21일

하고자 한다.

제한한 알고리즘은 먼저, 결합의 방향을 제외한 방향들에 대하여 형태론적 연산을 한 후, 서로 비교(최대값·최소값)하여 배경은 보존되고 결합이 제거된 영상을 얻는다. 그 다음, 원영상에 대하여 제외된 방향으로 동일한 형태론적 연산을 시킨 후 이 두 영상들의 차로 결합을 검출한다.

본 논문의 2장에서는 기존의 형태론을 이용한 결합 검출 알고리즘에 대하여 고찰하고 3장에서는 제한한 개선된 형태론적 방향성 결합검출 알고리즘에 대하여 살펴본다. 마지막 4장에서는 방향성 결합이 포함된 실제 texture 영상에 대하여 제안한 알고리즘과 기존 방식의 결합검출 성능을 비교한다.

II. 형태론적 결합검출 알고리즘

본 절에서는 형태론적 연산자의 정의^[4,5,6,7]와 결합 검출을 위한 기존의 형태론적 알고리즘^[1,2,3]에 대하여 살펴본다.

입력신호를 X 라 하고 형태소를 W_n 이라 할때, 형태론적 기본 여과기인 불림, 녹임과 이들의 조합형 여과기들은 다음 식(1)로 정의된다. 여기에서 입력영상, $X = (x_i, x_{i+1}, \dots)$ 로 표현할 수 있고 형태소 W_n 은 $(2n+1) \times (2n+1)$ 의 크기를 갖는다.

$$\begin{aligned}
 \text{녹임} : E_n(x_i) &= \text{Min}\{x_{i-k}, k \in W_n\} \\
 \text{불림} : D_n(x_i) &= \text{Max}\{x_{i-k}, k \in W_n\} \\
 \text{열림} : O_n(x_i) &= E_n(D_n(x_i)) \\
 \text{불합} : C_n(x_i) &= D_n(E_n(x_i)) \\
 \text{열림-불합} : OC_n(x_i) &= C_n(O_n(x_i)) \\
 \text{불합-열림} : CO_n(x_i) &= C_n(O_n(x_i))
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

이미 알려진 형태론적 결합검출 알고리즘은 결합성분을 제거할 수 있도록 원영상을 처리한 후, 이를 원영상과 빼 줌으로써 결합성분을 상대적으로 강조시키는 대비강조를 토대로 한 영상분해라 할 수 있다. 이러한 알고리즘은 원 영상의 성질에 따라 결합검출 성능을 보다 개선시키기 위하여 다음과 같이 3가지 방식으로 나눌 수 있다.

알고리즘 I.

결합검출을 위하여 대비강조를 토대로 한 기본적인

형태론적 알고리즘은 식 (2), (3)과 같은 상모변환(top-hat transform)^[4,7]을 들 수 있다. 이때 \overline{D}_I 는 결합이 주위보다 밝은 영역일 경우에 검출된 결합영상을 나타내며 \underline{D}_I 는 결합이 주위보다 어두운 영역일 경우에 검출된 결합영상을 나타낸다.

$$\overline{D}_I = X - X \cdot W_n \tag{2}$$

$$\underline{D}_I = X \cdot W_n - X \tag{3}$$

그림 1은 1차원 입력신호 X 에 대하여 top-hat transform을 적용한 결과이다.(이 경우 형태소 W_n 은 $2n+1$ 의 크기를 갖는 1차원 창임) 즉, 결합으로 고려될 수 있는 주위보다 큰 양의 피크와 주위보다 작은 음의 피크는 입력신호 X 를 열림/불합하여 그림 1 b), d)와 같이 결합이 제거된 신호를 얻는다. 그리고 이를 원 신호 X 와 빼 줌으로써 그림 1 c), e)와 같이 결합을 검출할 수 있다.

여기에서 형태소의 크기나 모양은 중요한 요소가 되며 그 크기는 결합 성분보다 커야만 한다.

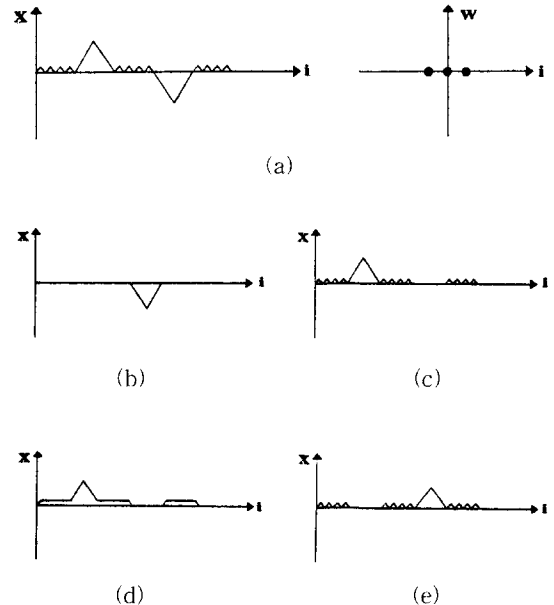


그림 1. 상모변환의 기본 알고리즘
(a) 입력 신호와 형태소, (b) 열림된 신호 (c) \overline{D}_I , (d) 불합된 신호, (e) \underline{D}_I

Fig. 1. Basic algorithm of top-hat transform
(a) Input signal and structuring element, (b) Opened signal (c) \overline{D}_I , (d) Closed signal, (e) \underline{D}_I .

알고리즘 II.

서론에서 언급한 바와 같이 결함은 주위배경과의 밝기차로 정의될 수 있으며, 또한 일정한 구조를 깨뜨리는 영역으로 정의될 수도 있다. 즉, 원영상 X가 특별한 방향으로 일정한 구조를 갖는 경우 이러한 구조를 깨뜨리는 결함은 다음 식(4), (5)에 의하여 보다 더 효율적으로 검출될 수 있다.

$$\overline{D_{II}} = X - \underset{Direction}{Max} [X \cdot W_n, Direction] \quad (4)$$

$$\underline{D_{II}} = \underset{Direction}{Min} [X \cdot W_n, Direction] - X \quad (5)$$

여기에서 $W_n, Direction$ 은 그림 2와 같이 특정한 방향을 갖는 형태소를 나타낸다.

원영상이 특별한 방향으로 일정한 구조를 가질 경우, 처리된 영상은 결함이 제거되고 주위배경은 보존되어야만 한다. 이때 방향성이 없는 등방성 형태소(isotropic structuring element)(사각형, 육각형, 팔각형.....)를 사용할 경우, 결함을 둘러싸고 있는 배경 영상이 보존되지 않는다.

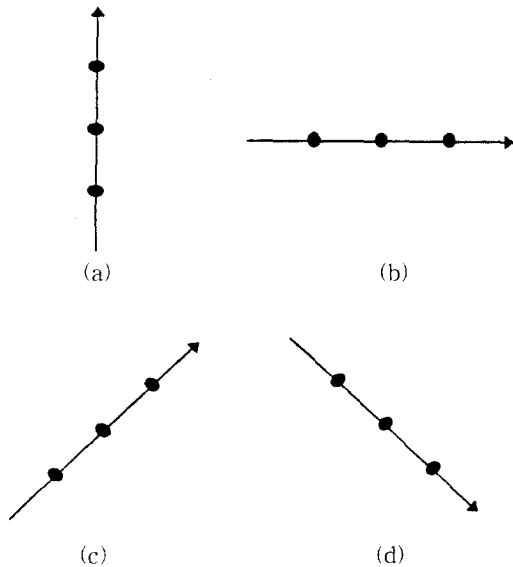


그림 2. 방향성 형태소, $W_n, Direction$

- a) 수직 방향, b) 수평 방향, c) 45° 방향, d) 135° 방향)

Fig. 2. Directional structuring elements of size 3x3 ($W_n, Direction$)

- a) Vertical, b) Horizontal, c) 45° direction, d) 135° direction).

이러한 문제점은 결함을 제거할 수 있는 정도의 크기를 갖는 형태소, $W_n, Direction$ 에 의하여 여러번 열림/불림을 한후, 최대값/최소값을 취함으로써 해결될 수 있다.

알고리즘 III.

표면 결함영상에 잡음이 존재하거나 표면이 매끄럽지 못한 경우, 열림/불림 보다 불림 열림/열림-불림에 의하여 식 (6), (7)와 같이 결함검출 성능을 개선시킬 수 있다.

$$\overline{D_{III}} = X - \underset{Direction}{Min} [(X \cdot W_n) \cdot W_n, X] \quad (6)$$

$$\underline{D_{III}} = \underset{Direction}{Max} [(X \cdot W_n) \cdot W_n, X] - X \quad (7)$$

알고리즘 I의 열림은 형태소 크기보다 작은 피크를 제거하면서 원신호의 음의 포락선을 형성하기 때문에, 이 열림된 신호와 원신호의 차는 주위보다 큰 피크 외에도 많은 차성분을 포함하게 된다. 그러나 알고리즘 III의 불림-열림된 신호는 형태소의 크기보다 작은 피크와 골짜기를 제거하면서 양의 포락선을 형성한다. 그러므로 이 신호와 원신호의 최소값을 취한 결과는 검출하고자 하는 피크를 제외한 영역에서 원영상과 동일한 값을 갖게 된다.

결국, 처리된 신호와 원신호의 차, $\overline{D_{III}}$ 는 배경의 에러성분들을 효율적으로 억제할 수 있다.

만약 원영상이 특별한 방향성을 갖고면서 잡음이 존재하는 경우, 알고리즘 III는 알고리즘 II와 식 (8), (9)를 다음과 같이 병행시킬 수 있다.

$$\underline{D_{III, I}} = X - \underset{Direction}{Min} [\underset{Direction}{Max} (X \cdot W_n) \cdot W_n, Direction], X] \quad (8)$$

$$\overline{D_{III, I}} = \underset{Direction}{Max} [\underset{Direction}{Min} ((X \cdot W_n) \cdot W_n, Direction), X] - X \quad (9)$$

III. 방향성 결함검출을 위한 새로운 형태론적 알고리즘

II장에서 살펴본 기존의 형태론적 결함검출은 크게 표면 결함 영상에 적용시키는 알고리즘 (I, III)과 일정한 구조를 갖는 texture 영상에 결함이 존재할 때 적용시키는 알고리즘(II)으로 나눌 수 있다.

본 장에서는 배경과 동일한 방향의 결함에 대하여 기존 방식의 문제점을 살펴보고 개선된 알고리즘을 제시한다.

1. 기존 방식의 문제점

II장에서 언급된 기존의 세가지 알고리즘 모두 결합 자체의 방향성은 고려되지 않거나 등방성으로 가정하였다. 즉, 배경과 같은 방향으로 상당한 크기의 결합이 존재할 경우, 알고리즘 I, II, III는 그 결합을 효율적으로 검출할 수 없다. 그 이유는 다음과 같다.

먼저, 알고리즘 I은 결합을 제거할 수 있는 크기의 형태소를 사용하기 때문에 열림/불합에 의하여 일정한 구조를 갖는 배경 영상이 보존되지 않거나 그 구조를 보존할지라도 배경의 크기가 작은 성분들을 제거하게 된다. 그러므로 열림/불합에 의하여 인어진 차영상 D_I / D_{II} 은 결합외에도 많은 차 성분을 포함하게 된다. 그림 4의 b), c)는 이러한 알고리즘 I의 문제점을 보여 주고 있다.

알고리즘 II는 결합과 동일한 방향의 형태소로 열림/불합할 경우 위에서 제시한 상당한 크기의 결합이 제거되지 않는다. 그러므로 각 방향에 대한 열림/불합된 결과영상들의 최대/최소를 취한 결과 역시 결합이 제거되지 않기 때문에 차영상 \bar{D}_{II} / D_{II} 에서 결합이 검출되지 않는다.

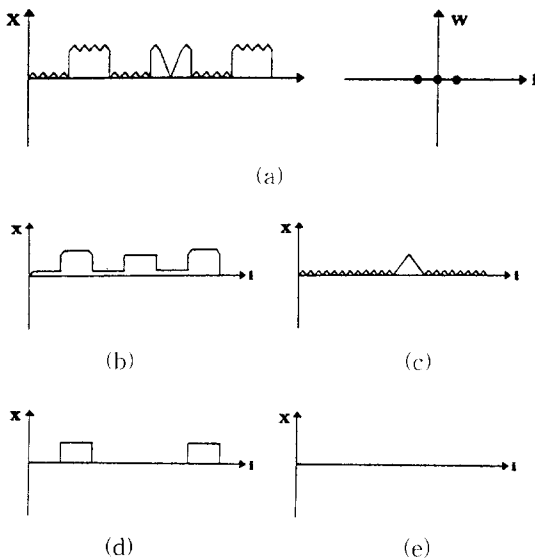


그림 3. 알고리즘 I, III의 문제점

a) 입력 신호와 형태소, b) 불합된 신호, c) D_I , d) 열림-불합된 신호, e) D_{III} .

Fig. 3. Problems of algorithm I and III

a) Input signal and structuring element, b) Closed signal, c) D_I , d) Open closed signal, e) D_{III} .

알고리즘 III는 불합-열림/열림-불합이 형태소보다 작은 양의 피크와 음의 피크를 모두 제거하는 성질때문에 그림 4 a)와 같은 결합에 대하여 원하는 결과를 얻을 수 없다. 즉, 결합에 해당하는 음의 피크를 제거하기 위해 열림-불합을 사용한 결과 그림 4 d)와 같이 오히려 결합 주위의 양의 피크가 제거된다. 그러므로 이 신호와 원 신호의 최대값을 취한 신호는 모든 영역에서 원 신호와 동일하게 된다. 결국, D_{III} 는 그림 4 e)와 같이 전 구간에서 0이 되어 원하는 결합을 찾을 수 없다.

2. 방향성 결합 검출을 위한 개선된 형태론적 알고리즘

I절에서 언급한 기존 방식의 문제점을 개선시키기 위해 본 절에서는 배경의 방향을 고려하면서 결합을 검출할 수 있는 개선된 알고리즘을 제시한다. 먼저 제안한 알고리즘은 배경 영상을 보존하기 위하여, 알고리즘 I, III보다 알고리즘 II의 방향성 알고리즘을 다음과 같이 개선하였다.

$$D' = X - \underset{Direction^*}{Max} [X \circ W_n, Direction] \quad (10)$$

여기에서 $Direction^*$ 은 결합의 방향을 제외한 나머지 방향을 의미한다. 그리고 결합은 배경보다 밝은 영역이라고 가정하며 X는 결합이 포함된 원영상을 나타낸다.

알고리즘 II의 문제점이 결합과 같은 방향의 형태소에 의하여 발생되므로 식(10)에서는 결합과 동일한 방향을 제외시킨 나머지 방향들의 형태소를 사용하였다. 이때 배경의 구조가 결합보다 크다면 형태론적 연산이 그 구조에 영향을 미치지 않기 때문에 식(10)은 나머지 방향의 형태소에 의하여 알고리즘 I보다 나은 결과를 얻으면서 알고리즘 II, III의 문제점을 해결할 수 있다. 그러나 이와같이 열림한 후 최대값을 택한 영상에는 제외시킨 방향의 밝은 성분들이 다른 방향들의 형태소에 의한 열림에 의하여 제거될 수 있다. 결국 차영상 D' 에는 결합외에도 제외된 방향의 많은 차성분들이 검출된다.

이런 문제점은 식 16)에 의하여 다소 해결할 수 있다.

$$D' = X \circ W_n, one\ Direction - \underset{Direction^*}{Max} [X \circ W_n, Direction] \quad (11)$$

여기에서 one, Direction은 결합의 방향을 의미한다.

차영상 D'에서 검출되는 결함외의 차성분들은 식 11)과 같이 제외된 방향으로 원영상을 열림함으로써 어느 정도 제거할 수 있다. 즉, 배경에서 원영상과 처리된 영상이 동일하라면, 원영상에서도 처리된 영상에서 제외된 밝은 성분들을 제거하여야만 한다. 이를위해 식 11)은 제외된 방향의 형태소로 원영상을 열림하여 그 형태소보다 작은 밝은 성분들을 원영상에서 제거한다. 이때, 제외된 방향(즉, 결함 방향)이 아닌 다른 방향의 형태소로 열림한다면 제거하고자 하는 성분들 뿐만 아니라 결함까지도 제거되므로 결함과 같은 방향의 형태소가 선택되어야만 한다.

또한, 결함의 형태를 보존하면서 잡음 성분들을 제거하기 위해 원영상을 smoothing 시킬 수 있다면 그 검출 성능은 보다 향상될 것이다. 그러므로 본 논문에서는 결함 방향으로 열림/붙임시킨 전처리된 신호를 입력 신호로 사용하여 최종적으로 식 12), 13) 과 같은 개선된 형태론적 결함검출 알고리즘을 제안할 수 있다.

$$\overline{D}_{proposed} = [(X \cdot W_{m, one\ Direction}) \cdot W_{n, one\ Direction}] - \underset{Direction'}{Max} [(X \cdot W_{m, one\ Direction}) \cdot W_{n, one\ Direction}] \quad (12)$$

$$\underline{D}_{proposed} = \underset{Direction'}{Min} [(X \cdot W_{m, one\ Direction}) \cdot W_{n, one\ Direction}] - [(X \cdot W_{m, one\ Direction}) \cdot W_{n, one\ Direction}] \quad (13)$$

여기에서 m은 결함의 형태를 보존하면서 배경영상을 smoothing 시킬 수 있는 형태소의 크기이며 식 13)은 식 12)의 Dual 형태로서 결함이 주위보다 어두운 영역일 경우에 적용하는 알고리즘이다. 이와같이 식 12), 13)에서 제안된 알고리즘은 기존의 알고리즘을 개선시킴으로써 배경과 동일한 방향성 결함을 검출할 수 있다.

IV. 실험 및 결과

본 장에서는 배경과 동일한 방향의 결함을 포함한 실제 영상에 대하여 제안한 알고리즘과 기존의 방식들의 결함검출 결과를 이치화된 차영상으로 비교하였다. 여기에서 사용된 영상은 그림 5(a), 그림6(a)와 같이 직조시 울이 빠진 결함직물을 사용하였다.

그림 5는 배경과 결함이 수직방향의 구조를 가진 경우에 기존의 방식들과 제안된 방식의 결함검출결과를 나타낸다. 이때, 형태론적 연산은 n=1인 형태소와 전처

리를 위한 m=5인 형태소를 사용하였으며 식 13)의 $W_{n, one\ Direction}$ 은 $W_{n, vertical}$ 이 된다. 따라서 $W_{n, Direction}$ 은 수직 방향을 제외한 두가지 대각선 방향과 수평방향이 된다. 또한, 결과적으로 얻어진 차영상들은 결함 영역을 분리하기 위하여, 각각 최적의 임계치에 의해 이치화 되었다.

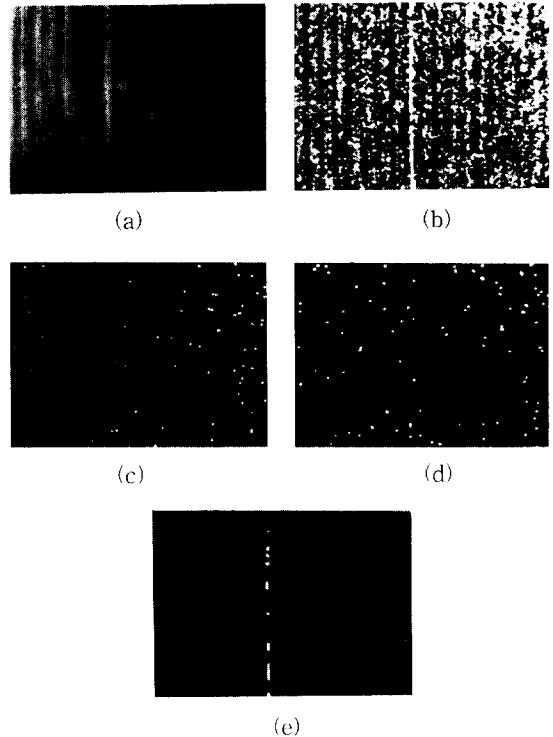


그림 4. 수직방향의 구조에 대한 결함검출 결과
a) 원 영상, b) 알고리즘 I에 의한 결과, c) 알고리즘 II에 의한 결과, d) 알고리즘 III에 의한 결과, e) 제안한 방식에 의한 결과

Fig. 4. Defect detection results for vertical texture image

a) original image, b) result of algorithm I, c) result of algorithm II, d) result of algorithm III, e) result of the proposed algorithm.

그림 5 b)에서 알 수 있듯이 알고리즘 I은 방향성이 고려되지 않기 때문에 최적의 임계치를 사용하여도 결함외에 검출되는 성분들이 많다. 그리고 그림 5 c), d)와 같이 알고리즘 II, III는 III-1절에서 언급한 이유 때문에 결함을 검출할 수 없었다. 그러나 그림 5 e)와 같이 제안한 알고리즘은 방향성 결함을 효율적으로 검출할 수 있었다.

그림 6은 각각 배경과 결함이 45° 방향을 갖는 경우이며 여기에서도 제안한 알고리즘의 검출결과가 기존의 방식들 보다 우수함을 알 수 있었다.

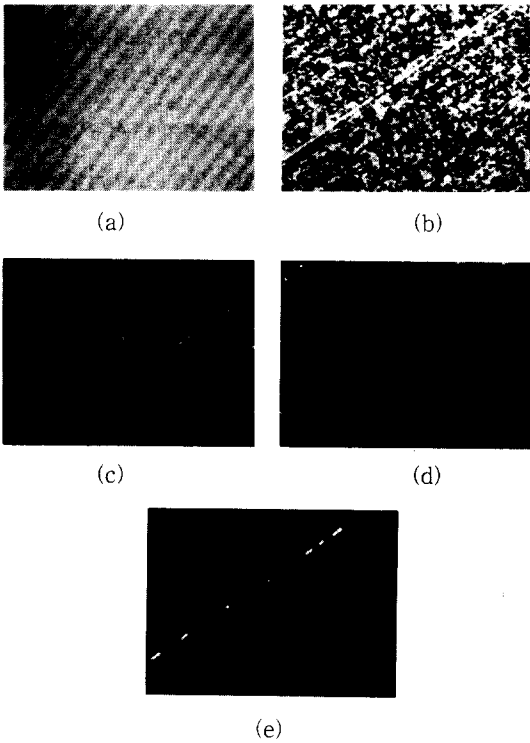


그림 5. 45° 방향의 구조에 대한 결함검출 결과
a) 원 영상, b) 알고리즘 I에 의한 결과, c) 알고리즘 II에 의한 결과, d) 알고리즘 III에 의한 결과, e) 제안한 방식에 의한 결과)

Fig. 5. Defect detection results for 45° directional texture image.

a) original image, b) result of algorithm I, c) result of algorithm II, d) result of algorithm III, e) result of the proposed algorithm.

IV. 결 론

본 논문은 기존의 형태론적 결함검출 알고리즘을 분석하고 texture 영상에서의 방향성 결함을 위한 개선된 형태론적 결함검출 알고리즘을 제시하였다.

제안된 알고리즘은 처리된 영상에서 결함을 제거시키고 배경을 보존시키기 위해 기존 알고리즘의 모든 방향의 형태소가 아닌 결함의 방향을 제외한 형태소를

이용하였다.

이와같이 처리된 영상이 배경을 보존하면서 결함이 제거되어졌기 때문에 이 영상과 원영상의 차로 결함을 검출함으로써 제안된 알고리즘은 기존방식들의 문제점을 해결할 수 있었다. 또한, 실험결과에서 알 수 있듯이 결함검출 성능이 기존 방식들 보다 우수함을 알 수 있었다.

향후, 결함의 방향정보가 없이도 이러한 방향성 결함을 검출할 수 있는 적응성 알고리즘에 대한 연구가 지속되어야겠다.

참 고 문 헌

- [1] Philippe Salembier, "Comparision of Some Morphological Segmentation. Algorithms Based on Contrast Enhancement Application to Automatic Defect Detection," *Signal Processing V: Theories and Application*.
- [2] Philippe Salembier Jean Serra, "Morphological Mutiscale Image Segmentation", *Pro. SPIE VOL. 1818 Visual Communication and Image Processing '92*. pp. 620-632, 1992.
- [3] Pilippe Salembier and Murat Kant, "Size Sensitive Multiresolution Decomposition of Images with Rank order Based Filters" *Signal Processing*, Vol. 27, No. 2, pp. 205-241, May 1992.
- [4] Jean Serra, *Image Analysis and Mathematical Morphology*, Vol I, II London : Academic Press, 1988.
- [5] Charles R. Giardina, Edward R. Dougherty, *Morphological Methods in Image and Signal Processing*, New Jersey : Prentice-Hall, 1988.
- [6] Haralick, Shapiro, *Computer and Robot Vision*. Addison Wesley, 1992.
- [7] Rafael C. Gonzalez Richrd E. Woods, *Digital Image Processing*, Addison Wesley, 1992

저 자 소 개

金 翰 均(正會員) 第 31卷 B編 第 12號 參照
1995년 1월 ~ 현재 현대전자 멀티
미디어 연구원

尹 楨 敏(正會員) 第 32卷 B編 第 12號 參照
1996년 1월 ~ 현재 삼성전자 연구원

吳 胃 煥(正會員) 第 31卷 B編 第 12號 參照
현재 대구전문대학 전산과 교수

崔 太 永(正會員) 第 30卷 B編 第 6號 參照
현재 이주대 전기전자공학부 교수