

영상 세그멘테이션 및 템플리트 매칭 기술을 응용한 필름 결함 검출 시스템

(A Film-Defect Inspection System Using Image Segmentation and Template Matching Techniques)

윤영근[†] 이석룡^{**} 박호현^{***} 정진완^{****} 김상희^{*****}
(Young-Geun Yoon) (Seok-Lyong Lee) (Ho-Hyun Park) (Chin-Wan Chung) (Sang-Hee Kim)

요약 본 논문에서는 TFT-LCD에 사용되는 편광 필름(polarized film)의 제작 과정 중 최종 단계에서 수행되는 필름의 결함 검출 및 결함 유형을 판정하기 위한 필름 결함 검출 시스템(Film Defect Inspection System: FDIS)을 설계하고 이를 구현하였다. 제안한 시스템은 영상 세그멘테이션 기법을 이용하여 편광 필름 영상으로부터 결함을 검출하였고, 검출된 결함의 영상을 분석하여 결함 유형을 판정할 수 있도록 설계되었다. 결함 유형의 판정은 결함 영역의 형태적 특성 및 질감(texture) 등의 특징을 추출하여 템플리트(template) 데이터베이스에 저장된 기준(reference) 결함 영상과 비교함으로써 수행된다. FDIS를 이용한 실험 결과, 테스트 영상에서 모든 결함 영역을 빠른 시간 안에 (평균 0.64초), 정확히 검출하였으며(Precision 1.0, Recall 1.0), 결함 유형을 판정하는 실험에서도 평균 Precision 0.96, Recall 0.95로 정확도가 매우 높은 것을 관찰할 수 있었다. 또한, 회전 변형을 적용한 경우의 결함 유형 검출 실험에서도 평균 Precision 0.95, Recall 0.89로 제안한 기법이 회전 변환에 대하여 견고함을 보여 주었다.

키워드 : 필름 결함 검출 시스템, 영상 세그멘테이션, 템플리트 데이터베이스

Abstract In this paper, we design and implement the Film Defect Inspection System (FDIS) that detects film defects and determines their types which can be used for producing polarized films of TFT-LCD. The proposed system is designed to detect film defects from polarized film images using image segmentation techniques and to determine defect types through the image analysis of detected defects. To determine defect types, we extract features such as shape and texture of defects, and compare those features with corresponding features of referential images stored in a template database. Experimental results using FDIS show that the proposed system detects all defects of test images effectively (Precision 1.0, Recall 1.0) and efficiently (within 0.64 second in average), and achieves the considerably high correctness in determining defect types (Precision 0.96 and Recall 0.95 in average). In addition, our system shows the high robustness for rotated transformation of images, achieving Precision 0.95 and Recall 0.89 in average.

Key words : Film Defect Inspection System, Image Segmentation, Template Database

· 본 연구는 한국과학기술원 영상정보처리연구센터를 통한 국방과학연구소의 연구비지원으로 수행되었습니다.

† 학생회원 : 한국외국어대학교 산업정보시스템공학부
ygyoon@hufs.ac.kr
** 중신회원 : 한국외국어대학교 산업정보시스템공학부 교수
sllee@hufs.ac.kr
(Corresponding author임)
*** 정 회 원 : 중앙대학교 전기전자공학부 교수
hohyun@cau.ac.kr
**** 중신회원 : 한국과학기술원 전산학과 교수
chungcw@kaist.ac.kr
***** 정 회 원 : 국방과학연구소 기술1-2팀 연구원
jhchoii@hanafos.com
논문접수 : 2006년 4월 18일
심사완료 : 2007년 2월 5일

1. 서론

정보화 기술의 발달은 실생활에 유용한 다양한 전자 제품 개발을 선도하고 있으며 사용자와 기계간의 가시적인 인터페이스를 담당하는 디스플레이 장치들 또한 진보하고 있다. 디스플레이 장치의 소형화 및 대형화에 따라 기존 CRT(cathode ray tube)를 대체할 평판 디스플레이 제품인 LCD, PDP(plasma display panel), FED(field emission display), 유기 EL(electro luminescence) 등이 지속적으로 발전하고 있으며 그 중에서 현재 상품화가 가장 많이 이루어지고 있는 LCD 산업이 시장을 주도하고 있다. LCD는 일반적으로 액정의 굴절

을 이방성(optical anisotropy), 유전율 이방성(dielectric anisotropy) 및 탄성 특성을 이용하여 빛이 상부 편광판을 통과할 때 편광되어, 전압 인가량에 따라 Twist와 Tilt의 정도를 달리하는 액정층을 지나 하부 편광판을 통해 투과되는 빛의 조절된 양에 의해 정보를 표시하는 디스플레이 소자이다. 일반적인 LCD는 액정 재료, 컬러 필터, 실장 기술(packaging technology), 편광 필름, 유리 기판, 백라이트(backlight), 배향막(alignment layer) 및 스페이서(spacer) 등의 주요 부품으로 구성된다. LCD 모듈의 백라이트에서 나오는 빛은 진동 방향이 모든 방향으로 같은 확률을 갖게 되는데 편광 필름은 이러한 빛 중에서 편광 축과 동일한 방향으로 진동하는 빛만 투과하고, 그 외의 나머지 방향으로 진동하는 빛은 적당한 매질을 이용하여 흡수 또는 반사시켜 특정한 한 방향으로 진동하는 빛을 만드는 역할을 한다. 편광 필름은 액정 셀의 양면에 편광축이 서로 직교 또는 평행하도록 부착되기 때문에 액정 셀을 통과하는 동안 편광축의 회전 정도에 따라 투과 광의 세기가 조절되어 검정색과 백색사이의 그레이 표현이 가능하게 된다. 편광 필름은 LCD의 필수 부품 중의 하나이며, 편광 필름의 부착 과정에서 쿠닉(cunic), 스크래치(scratch), 기포, 이물질 등 여러 결함이 발생할 수 있는데 발생한 결함의 위치 및 유형을 정확하게 파악하기 위해서는 결함 검출 시스템과 같은 자동화된 비전시스템이 필요하다.

필름 결함 검출 시스템은 필름 생산공정의 마지막 공정단계에서 생산제품의 등급 표기를 위하여 표시된 결점을 자동 추출하여 불량영역 신호 발생 및 제거 신호 송출을 할 수 있는 장비를 말한다. 자동화된 결함 검출 시스템은 제품 생산 중간 단계에서 불량 부품의 사용으로 인한 제품의 오동작을 방지할 수 있으며 불량 및 양품 판정에 있어 작업자의 검사 시간을 줄일 수 있을 뿐만 아니라 보다 빠르고 정확한 검사를 한다는 점에서 생산공정에서 중요한 역할을 담당하고 있다. 필름에 대한 양품 및 불량 판정은 다음과 같이 진행된다. 먼저 필름 결함검출 시스템의 카메라를 통해 획득된 영상으로부터 다양한 영상처리 과정을 거쳐 필름의 양품 및 불량을 판정하게 되며 불량으로 판정된 필름에 대해서는 생산라인에 적색 경고 등을 이용하여 작업자에게 필름에 불량이 있음을 알려준다. 이후 작업자는 필름 표면에 먼지나 실오라기 등의 이물질을 제거하고 불량 판정을 다시 내리게 된다. 이때 사용되는 영상처리는 생산라인 흐름을 유지시키기 위하여 빠른 처리 방법을 요구하며 대부분 영상 이진화를 통한 결함 픽셀의 개수를 계산하는 방법을 사용하고 있다. 그러나 이러한 방법은 필름의 결함 유무를 판정하는 데는 유용하나 결함이 발생한 필름에 대해서 작업자가 다시 불량판정을 결정해야 하는

문제가 생긴다. 만약 작업자가 결함의 유형까지 알 수 있다면 필름에 제거 불가능한 결함의 존재가 알려진 경우 해당 필름에 대해서는 불량 판정을 다시 내려야 하는 부가 작업 단계를 생각할 수 있다. 본 논문에서는 결함의 유무뿐만 아니라 결함의 유형까지 판정할 수 있는 결함 검출 시스템을 설계하고 구현하였으며, 제안한 시스템은 영상 세그멘테이션 및 템프리트 매칭 기술을 이용하여 획득된 영상의 특징에 맞게 빠르고 정확하게 결함의 영역 및 유형을 결정할 수 있도록 하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2절에서는 필름 결함 검출 시스템 및 결함을 검출하기 위한 기법에 대한 기존의 연구를 소개한다. 3절에서는 결함을 발견하고 결함 유형을 판별하기 위하여 제안된 필름 결함 검출 시스템에 대하여 기술하고, 제안한 기법의 각 단계에 대한 상세한 설명과 결함 검출에 있어서의 효율성을 논한다. 4절에서는 제안한 알고리즘의 성능을 검증하기 위하여 구현한 시스템을 소개하고 실제 결함 영상을 대상으로 실험한 결과를 제시하며, 5절에서는 결론과 함께 향후 연구 방향을 제시한다.

2. 관련연구

TFT-LCD가 디스플레이 장치의 주를 이룸으로써 생산과정에서 TFT 패널에서의 결함 발생을 효과적으로 인식하기 위한 자동 결함 검출 시스템에 관한 연구가 진행되어왔으나, 산업 현장에서 효율성이 높은 중요한 연구 분야임에도 불구하고 관련 연구는 그리 많지 않은 실정이다. 이 절에서는 먼저 결함 검출 시스템에 관한 관련 연구에 대하여 언급하고, 다음에 제안한 시스템과 관련된 영상 세그멘테이션 기술에 관한 연구에 대하여 기술한다.

Nakashima[1]에서는 결함의 유형을 macro와 micro 결함으로 분류하였는데, macro 결함은 패널의 뒤틀림 등으로 인해 발생하는 색의 불균일성으로 나타나는 결함으로써 결함의 크기가 크고 명확하기 때문에 사람의 눈으로도 쉽게 인식할 수 있는 결함의 유형이며 micro 결함은 결함의 크기가 매우 작아 비전시스템을 이용하지 않고서는 검출해 내기 어려운 결함 유형을 의미한다. micro 결함을 검출하기 위하여 [1]에서는 LCD 패널의 결함 검출을 위한 방법으로 공제법(subtraction method)과 광학 푸리에 필터링을 사용하였다. 공제법은 Black Matrix Hole이나 Particle을 검출하기 위하여 사용되었으며 광학 푸리에 필터링은 Grain 결함을 추출하는데 사용되었다. 또한 Sokolov와 Treskunov[2]는 LCD의 최종 디스플레이 검사에서 결함을 추출하기 위하여 기준 영상과 히스토그램 밝기 분포를 비교하는 방법을 사용하였다.

TFT 패널의 결합 영역 검출을 위한 최근의 연구로서 [3]에서는 SVD(singular value decomposition)를 이용하여 결합 영역을 추출하였다. TFT 패널은 수평과 수직으로 반복적인 직교 성분을 가지게 되는데, SVD를 이용하여 영상에서의 직교 성분을 제거하고 영상에서 결합 영역만을 추출할 수 있도록 영상 재 구축 과정을 거쳐 결합 영역을 결정하였다.

[4]에서는 변형된 회귀진단(regression diagnostics)과 Niblack의 임계 값(threshold) 결정 방법을 이용하여 결합 영역을 결정하였다. 위 연구에서는 변형된 회귀진단 방법을 사용하여 영상에서 배경 영상과 결합 영역을 분리하고 Niblack의 임계 값 결정 방법을 적용하여 결합 영역은 흰색, 배경 영역은 검정으로 표시한 이진 영상으로 변환하여 최종적인 결합 영역을 결정하였다.

그러나 이러한 방법들은 영상에서 결합 영역을 찾는 데는 성공하였으나 결합 영역에 대한 유형 결정에 있어서는 문제점을 가지고 있다. [5]에서는 Subtraction 방법을 이용하여 컬러 필터의 결합 유형을 결정하였는데 이때 결합 유형 결정에 있어서 기준 영상의 특징을 고려하지 않기 때문에 결합 유형을 결정하기 위해서는 대량의 기준 영상이 필요하게 된다. [4,6]에서 결합 영역을 획득하기 위한 방법으로 전체 영상에 대하여 특정 임계 값을 이용한 영상 이진화 단계를 거치는데 이는 회선연산, 영상 이진화, 형태론적 방법과 같은 부가적인 영상 처리과정을 필요로 하며 추출된 영역의 결합 유무만을 판단한다는 점에서 결합 유형 결정에는 적합하지 않다. 또한 결합 영역 추출에 있어서 반복적인 직교라인을 갖는 TFT 패널 영상의 특징을 이용한 것이기 때문에 본 연구에서 목표로 하는 편광 필름의 결합 검출 및 결합 유형 결정에는 적합하지 않다.

영상 세그멘테이션 기법은 임계 값에 기초한 방법과 경계선에 기초한 방법, 영역에 기초한 방법 및 이들을 합성한 방법으로 구분할 수 있다[7]. 임계 값에 기초한 방법은 영상이 두 가지의 확연히 구분되는 영역을 가지고 있을 때 좋은 세그멘테이션을 제공한다. 그러나, 이 방법은 영상의 각 영역의 경계가 모호하거나 영상이 다수의 특성을 갖는 영역을 포함하고 있을 때에는 성능에 제한을 받는다. 경계선에 기초한 방법은 두 영역의 경계선에서는 픽셀 값의 차이가 명확하다는 가정 하에 Sobel 이나 Robert 연산자 혹은 Canny 연산자 등을 사용하여 에지를 검출하고 이 에지를 영역의 경계선 검출에 이용하는 것이다. 이 방법에서 검출된 에지는 경계선 그 자체는 아니고 단지 경계선의 후보일 뿐이며, 이로부터 경계선을 추출하기 위해서는 에지 추적(edge tracking), 간격 채움(gap filling) 혹은 완화 처리(smoothing) 등의 후속 과정을 필요로 한다. 영역에 기초한 방법은 같

은 영역에 속하는 인접한 픽셀들은 비슷한 색상, 밝기, 질감 등의 특성을 가진다는 가정에 기초하며, 대표적인 기법으로 분리 및 병합(split and merge)[8,9] 방법이 있다. 이 방법에서는 처음에 초기 픽셀(seed pixel)을 선택하고, 이 픽셀로부터 시작하여 비슷한 특성을 갖는 인접한 픽셀을 병합하면서 영상을 세그멘테이션한다. 이 방법은 상당히 만족스러운 세그멘테이션 성능을 보여주지만, 초기 픽셀의 선택이 전체 성능에 영향을 미치게 되며 적절한 초기 픽셀을 선택하기 위하여 여러 가지의 영상의 특성에 관한 요소를 이용하고 있다.

이 밖에 위에 제시된 방법들을 적절히 조합한 세그멘테이션 기법들로서 [10,11] 등이 있다. [10]에서는 먼저 영역 확장 방법을 사용하여 영역을 구분한 후, 대비(contrast), 그라디언트(gradient) 및 경계선의 모양 등에 따라서 영역 사이의 에지를 제거하거나 수정함으로써 세그멘테이션을 하였고, [11]에서는 여러 가지 채널로부터 획득한 에지 지도(edge map)와 세그멘테이션을 통합하는 최적화 기법을 도입하였다.

본 논문에서 제시하는 세그멘테이션 방법은 영역에 기초한 방법으로써, 그레이 영상에서 영역 확장(region growing)에 기초한 영상 세그멘테이션 기법을 설계하고 이를 구현한다. 영역 확장을 위하여 초기 픽셀을 선택하여 인접 픽셀을 병합해 나가는 기존의 기법과는 달리, 영상을 먼저 사용자가 지정한 크기의 블록으로 나누고, 각 블록에 대하여 블록 내의 픽셀들의 명암도를 평균한 대표 명암도를 설정한다. 다음에, 초기 픽셀 대신 초기 블록을 선택하여 비슷한 특성을 가진 인접 블록들을 병합하는 방식으로 세그멘테이션이 진행된다.

3. 필름 결합 검출 시스템

필름 결합의 유형은 의복의 실오라기나 접착제 등이 유입된 불량인 실오라기(실), 덩어리 형태의 이물이 편광 필름 내부의 필름 층 사이에 존재하는 쿠닉, TAC (tri-acetyl-cellulose) 또는 PVA(patterned vertical alignment)가 심하게 굽힌 스크래치, 접착제 코팅시 층의 상하 부위에 형성되는 기포, 그리고 보호 필름 사이에 이물이 존재하는 결합 등 다양하게 나타날 수 있다. 본 논문에서는 자주 발생하는 결합인 쿠닉, 이물, 실오라기, 기포, 피트 등의 결합의 검출 및 결합 유형의 결정을 목표로 한다. 결합 검출에 사용되는 비전 시스템은 다양한 광원을 이용하여 필름 상의 결합 부분을 적절하게 획득할 수 있는데, 그림 1은 이러한 시스템을 통하여 획득된 영상의 예를 보여준다[5]. 결합 영역은 편광의 특성 상 여러 층의 보호 필름에 의해 빛이 투과할 경우 산란 및 굴절이 발생하기 때문에 결합이 존재하지 않는 영역과 그레이 레벨 값이 달라지게 된다.

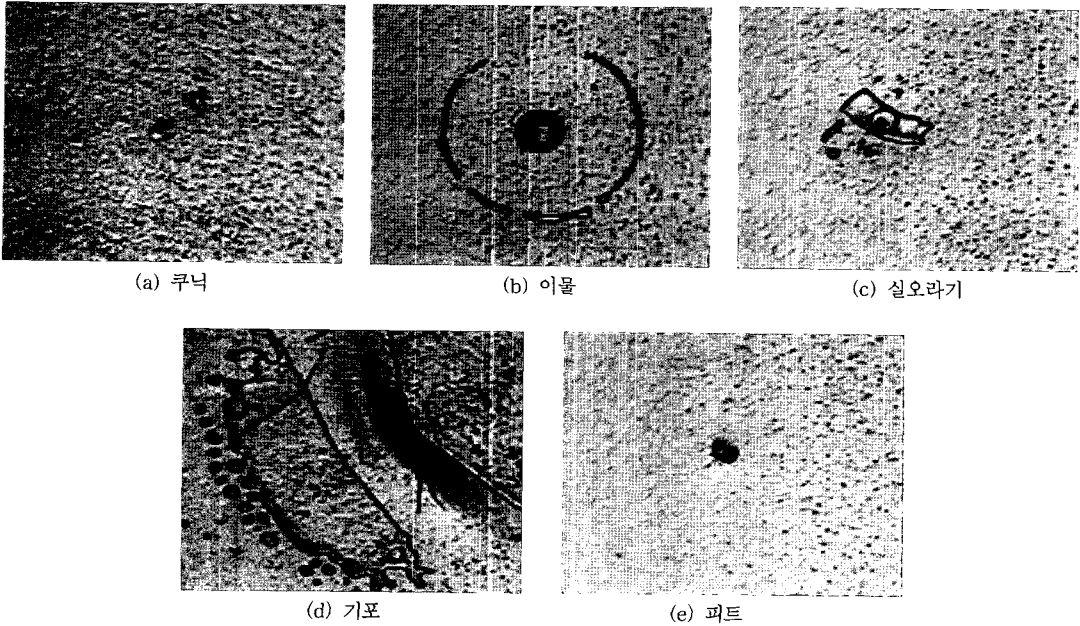


그림 1 비전시스템을 통하여 획득된 결함 영상의 예

3.1 결함 영역의 결정

영상 세그멘테이션은 각 영역이 동질의 특성을 가지게 하고 인접한 다른 영역은 서로 상이한 특성을 갖도록 영상을 복수 개의 영역으로 세그멘테이션하는 과정이다. 영상 세그멘테이션의 전형적인 정의는 집합 F 를 연결된 복수 개의 부분 집합(subset) 혹은 영역(S_1, S_2, \dots, S_n)으로 다음 조건을 충족시키면서 분할하는 것이다[12]:

$$\bigcup_{i=1}^n S_i = F, S_i \cap S_j = \emptyset, \text{ for } \forall i \neq j$$

위의 식이 의미하는 바와 같이 각 영역 S_i ($i=1, \dots, n$)의 합집합은 F 가 되고, $i \neq j$ 일 때 영역 S_i 와 S_j 는 비겹침(disjointed) 영역이 된다. 본 논문에서 제시하는 세그멘테이션 기법은 영역확장 기반의 영상분할 방식을 응용한 것으로 유사한 명암도를 갖는 블록들을 병합하여 복수 개의 영역을 추출하여 결함 영역을 결정하는 방법이다. 세그멘테이션 과정은 영상 블록화, 4-level 양자화(quantization)를 통한 블록 매트릭스 생성, 블록 매트릭스에서 인접 블록들의 병합을 통한 복수 영역 생성, 생성된 복수 영역들에 대한 특징 추출, 결함 유형의 결정 단계로 이루어져 있다.

영상 블록화는 먼저 $M \times N$ 크기의 영상을 $p \times q$ ($1 \leq p \leq M, 1 \leq q \leq N$) 크기의 블록으로 나눈다. 그러면, 원 영상은 $m = \lfloor M/p \rfloor, n = \lfloor N/q \rfloor$ 이라 할 때 $m \times n$ 개의 블록으로 분할되게 되며, 이때 M/p 와 N/q 가 정수가 아닐 경우 영상의 우측 끝과 아래 쪽 끝의 잔여 영상은 제외시킨다. 다음 식으로부터 블록(i, j)의 평균 밝기 $I_{i,j}$ 를

산출한다(단, $0 \leq i \leq m-1, 0 \leq j \leq n-1$).

$$I_{i,j} = \frac{1}{p \times q} \cdot \sum_{h=pi}^{p(1+i)-1} \sum_{v=qj}^{q(1+j)-1} Hist(h,v)$$

여기에서 $Hist(h,v)$ 는 영상의 좌표 (h,v) 에 위치한 픽셀의 밝기 히스토그램 값을 나타낸다. 결함 검출 시스템의 카메라로부터 얻어진 영상은 편광 필름 상의 특성상 많은 잡음이 포함되어있어 잡음을 제거하기 위하여 전처리 과정으로써 다양한 영상 필터링이나 블러링 과정을 채택하고 있다. 그러나 영상의 블록화는 블록 내의 픽셀들의 밝기 평균 값을 구하여 해당 블록의 대표 색상으로 사용하기 때문에 그 자체로써 잡음 제거 효과가 있어 전처리 과정의 오버헤드를 줄일 수 있는 이점이 있다.

블록화된 영상은 각 블록에 대해서 양자화 단계를 거치는데, 본 논문에서는 각 블록을 4-level (2 bit)의 명암도로 표현하여 영상을 간소화한다. 즉, 블록의 평균 명암도가 196 이상이면 그 블록의 대표 값을 0 (level 00)으로, 128 이상 196 미만이면 대표 값을 1 (level 01)으로, 64 이상 128 미만이면 대표 값을 2 (level 10)로, 64 미만이면 대표 값을 3 (level 11)으로 표현한다. 영상 양자화 단계를 거쳐 만들어진 2 차원 배열을 블록 매트릭스라 명하며 이 후의 모든 영상처리는 이 블록 매트릭스만을 기초로 한다. 블록 매트릭스에서 각 블록은 그 블록의 양자화 값으로써 0, 1, 2 또는 3의 값을 갖게 되며 0, 2, 3의 값을 갖는 블록들을 목표(target)

블록으로, 1의 값을 갖는 블록들은 비목표 블록(non-target)으로 나누며, 결합 영상은 대부분 목표 블록들로 이루어진다. 이 후에 블록 병합 및 복수영역 생성은 목표 블록들만을 고려한다. 블록 병합 시에 목표 블록만을 대상으로 하는 것은 결합 영상에서 찾고자 하는 결합 영역이 대개 주변 보다 명암이 높거나 낮게 나타나기 때문에 비목표 블록들은 대상에서 배제시켜 성능을 높이기 위함이다. 블록 병합 및 복수 영역의 생성 순서는 결합 영역이 영상의 주간 부근에서 발생하는 경우가 많은 점을 고려하여 영상의 중심 블록에서부터 시작되는데 그림 2와 같은 순서로 주변 블록들을 검사하면서 인접한 목표 블록들을 각 영역으로 병합하여 복수 개의 영역을 생성해간다.

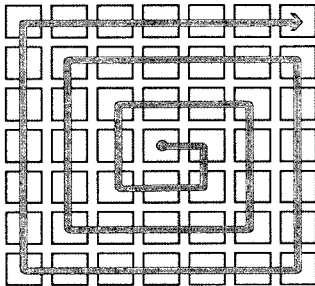


그림 2 블록 검사 순서

여기에서 블록 간의 인접성이란 어떤 목표 블록의 좌, 우, 상, 하 방향에 또 다른 목표 블록이 있을 경우 이들은 인접한 블록으로 간주한다. 예를 들어, 그림 3과 같이 목표 블록이 {1,3,4,6,8,12}, 비목표 블록이 {2,5,7,9,10,11}로 이루어진 영상이 있을 경우의 영역 생성은 다음과 같이 이루어진다.

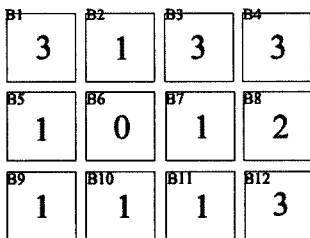


그림 3 블록 값에서의 영역 생성

우선 영상의 중심에 있는 블록 6번에서부터 주변 블록들을 검사해간다. 이때 한번 방문한 블록은 대상에서 제외시킨다. 6번 블록이 목표 블록이므로 인접한 {5,7,2,10} 블록들을 대상으로 블록 병합을 시작한다. 먼저 영역 r_1 를 생성한 후 6번 블록을 r_1 에 포함시킨다. 그리

고 인접한 블록 {5,7,2,10} 이 모두 비목표 블록이므로 블록 병합은 끝나고 영역 r_1 의 생성을 마친 후, 다음 블록 7번으로 이동한다. 7번 블록은 비목표 블록이므로 영역 생성 절차 없이 다음 블록 11번으로 이동한다. 마찬가지로 11,10,9,5 번 모두 비목표 블록이므로 1번 블록에서부터 다시 블록 병합 및 영역 생성을 시작한다. 새로운 영역 r_2 를 생성 후에 1번을 r_2 에 넣는다. 인접한 목표 블록이 없으므로 영역 r_2 생성을 마친 후, 다음 블록 3번으로 이동한다. 영역 r_3 을 생성 후에 3번을 r_3 에 넣는다. 인접한 목표 블록 4번이 있으므로 4번, 4번 영역에 인접한 목표 블록 8번, 8번의 인접한 목표 블록 12번을 모두 r_3 에 넣는다. 모든 블록을 방문했으므로 영역 생성을 마친다. 이 과정이 그림 4의 알고리즘 Image-Segmentation과 재귀 알고리즘인 그림 5의 Merge-Block 알고리즘에 기술되어있다.

```

Algorithm ImageSegmentation
Input:   원 영상 I
         블록크기 결정자 p,q
Output:  목표영역의 집합 R
Step1:  // 영상 블록화
         원 영상을 블록크기 p×q 로 분할하여 블록화 영상 B를 생성
Step2:  // 블록 병합 및 복수 영역 생성
         영역 집합 R = ∅ // 영역 집합의 초기화
         queue Q ← 방문할 블록의 순서
         모든 블록의 VISIT_FLAG ← OFF
         blk = deQueue(Q)
         while (Q is not empty){
             if (VISIT_FLAG(blk) is OFF & blk is a target block) then
                 영역 rgn을 blk로 초기화하여 생성
                 rgn = MergeBlock(blk, rgn)
                 R = R ∪ rgn
             end if
             blk = deQueue(Q)
         end while
Step3:  return R
    
```

그림 4 알고리즘 ImageSegmentation

```

Recursive Algorithm MergeBlock
Input:   BLOCK blk, REGION rgn
Output:  REGION rgn
Step1:  // 블록 blk 가 이미 방문한 블록인 지, target block 인 지 검사
         if (VISIT_FLAG(blk) is OFF & blk is a target block) then
             blk 를 rgn에 포함시킴
             VISIT_FLAG(blk) ← ON
             MergeBlock(RIGHT(blk), rgn) // blk 의 오른쪽 블록 병합
             MergeBlock(LEFT(blk), rgn) // blk의 왼쪽 블록 병합
             MergeBlock(UP(blk), rgn) // blk의 위쪽 블록 병합
             MergeBlock(DOWN(blk), rgn) // blk의 아래쪽 블록 병합
         end if
Step2:  return rgn
    
```

그림 5 재귀 알고리즘 MergeBlock

복수 개의 영역을 생성한 후에는 생성된 영역들 중에서 결합 영역을 결정해야 하는데, 결합 영역을 결정하는 방법은 영상의 특징에 따라 다양한 방법이 이용될 수 있다. 본 논문에서는 추출된 복수 개의 영역들을 대상으로 영역간의 중심거리가 일정거리 이하인 영역들을 병

합시킨 후에 결합 영역의 결정은 병합된 영역들 중에서 일정크기 이상의 영역을 결합 영역으로 결정하는 방법을 사용하였다.

추출된 영역들에 대해서는 영역 병합 절차를 거쳐 최종 결합 영역을 결정한다. 이때 블록 개수가 아주 작은 영역에 대해서는 결합 영역 결정에서 제외시키는데 이것은 결합 영역이 아닌 영상 획득 과정에서의 잡음으로 인해 추출된 영역을 제거하기 위함이다. 영역 병합은 결합 영역이 영역 생성 과정에서 분리되는 경우에 이를 보완하기 위한 절차로써 영역 간의 MBR(minimum bounding rectangle) 좌표 거리를 이용하여 영역 병합 여부를 결정한다. 그림 6의 (b)는 (a)의 원 영상을 영역 병합 절차 없이 결합 영역을 결정한 것이고 (c)는 MBR 좌표 거리가 30 픽셀 이하인 영역들을 병합하여 결합 영역을 결정한 것이다. 이 예에서 알 수 있듯이 영역 병합 절차를 거친 (c)의 세그멘테이션 결과가 보다 의미 있는 결합 영역 추출을 가능하게 한다. 이와 같이 복수 영역의 추출을 통한 영상의 분석은 영상 내의 결합들을 각각의 영역으로 통합하여 분석할 수 있기 때문에 영상 이진화를 통한 결합 픽셀의 개수를 계산하는 방법 보다 효과적이다.

3.2 템플릿 매칭을 이용한 결합 유형 결정

결합 영역에 대한 특징 값으로써 다음의 4 가지를 사용한다: (1) 결합 영역의 MBR에 대한 실제 결합 영역(defect region: DR)의 넓이 비율(f_1), (2) 결합 영역의 MBR에 대한 실제 결합 영역의 무게중심(f_2), (3) 질감 특징을 이용한 Contrast 값(f_3), (4) 질감 특징을 이용한 ASM (angular second moment) 값(f_4). 이 중 f_1, f_2 는 영역의 대략적인 형태를, 그리고 f_3, f_4 는 영역의 대략적인 형태와 영역이 어떠한 질감을 갖는 지를 알 수 있게 하며, 이 특징 값들은 영역의 결합 유형을 결정하는데 사용된다. 결합 영역의 MBR에 대한 실제 결합 영역의 넓이 비율($f_1: dr_ratio$)은 MBR 내의 전체 블록의 개수(# of blocks in MBR)에 대한 실제 결합 영역 내의 블록 개수(# of blocks in DR)의 비율을 나타내는 것으로써 다음과 같이 표현된다:

$$f_1 : dr_ratio = \frac{\#of\ blocks\ in\ DR}{\#of\ blocks\ in\ MBR}$$

결합 영역의 MBR 에 대한 실제 결합 영역의 무게중심(f_2)은 실제 결합 영역의 무게중심이 되는 지점의 MBR의 원점에 대한 상대 좌표 값(C_x, C_y)을 벡터량 C 로 나타내며 다음 수식으로 표현된다:

$$f_2 : C = (C_x, C_y) = \left(\frac{\text{무게중심의 } x\ \text{좌표}}{\text{결합영역의 } MBR\ \text{가로길이}}, \frac{\text{무게중심의 } y\ \text{좌표}}{\text{결합영역의 } MBR\ \text{세로길이}} \right)$$

그림 7은 앞에서 언급한 5가지의 결합 유형에 대하여 (C_x, C_y)의 위치를 표시한 것으로써 거리가 멀리 떨어져 있을수록 결합 유형간의 구분이 비교적 명확함을 나타낸다. 그림에서 보인 바와 같이 이물과 기포의 경우를 제외하면 결합 유형간의 구분이 비교적 명확함을 관찰할 수 있다.

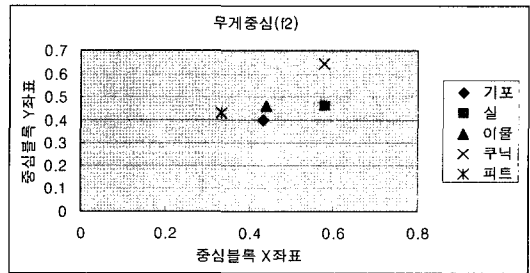


그림 7 결합 영역의 무게 중심 위치

질감 특징인 f_3 와 f_4 는 MBR 내에서 블록의 변화 정도와 정렬 정도를 나타내는 것으로써 GLCM(Grey Level Co-occurrence Matrix)[13]을 이용하여 Contrast와 ASM을 결정한다. GLCM은 인접 블록 간의 그레이 값의 변화 발생 빈도를 이차원 매트릭스로 나타낸 것인데 회전에 불변(rotation invariant)한 값을 갖게 하기 위해서 0°, 45°, 90°, 135°의 4방향에 대해서 매트릭스를 생

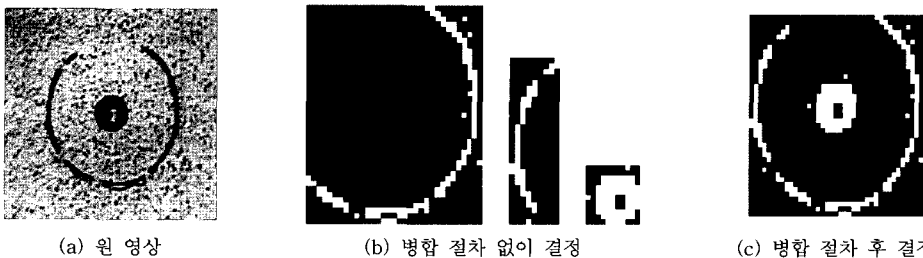


그림 6 영역 병합에 따른 결합 영역 결정

성한다. 그림 8(a)의 4×4 블록 크기의 예제 영상이 0, 1, 2, 3의 4단계의 그레이 값으로 표현되어 있고 각 블록의 밝기 값은 그림과 같다고 하면 GLCM의 생성은 다음과 같다: 0° 방향의 GLCM 생성은 framework matrix 에서 왼쪽에서 오른쪽 방향 또는 오른쪽에서 왼쪽 방향에 대해서 그레이 값의 변화를 고려해야 하는데 각 밝기 값에 따라 발생 빈도를 계산하면, (0,0)은 4건, (0,1)은 2건, (0,2)는 1건, (0,3)은 0건, (1,0)은 2건, (1,1)은 4건, (1,2)는 0건, (1,3)은 0건, (2,0)은 1건, (2,1)은 0건, (2,2)는 6건, (2,3)은 1건, (3,0)은 0건, (3,1)은 0건, (3,2)는 1건, (3,3)은 2건이 된다. 나머지 45°, 90°, 135° 방향에 대해서도 각 방향성을 고려하여 GLCM을 생성하면 그림 8(c)-(f)와 같은 4개의 매트릭스를 생성할 수 있다.

0	0	1	1
0	0	1	1
0	2	2	2
2	2	3	3

(a) 예제영상의 그레이값

0,0	0,1	0,2	0,3
1,0	1,1	1,2	1,3
2,0	2,1	2,2	2,3
3,0	3,1	3,2	3,3

(b) framework matrix

4	2	1	0
2	4	0	0
1	0	6	1
0	0	1	2

(c) 0° 방향

6	0	2	0
0	4	2	0
2	2	2	2
0	0	2	0

(d) 90° 방향

2	1	3	0
1	2	1	0
3	1	0	2
0	0	2	0

(e) 135° 방향

4	1	0	0
1	2	2	0
0	2	4	1
0	0	1	0

(f) 45° 방향

그림 8 GLCM 매트릭스의 생성

GLCM은 각 밝기 값의 변화 발생 빈도를 2차원 매트릭스로 나타낸 것이기 때문에 질감 특징을 추출하는 데 효과적이다. 본 논문에서는 GLCM을 각 결함 영역의 블록 매트릭스에 적용하여 Contrast와 ASM 값을 계산하여 영역의 특징 값으로 사용한다. GLCM에서 질감은 각 셀 값의 가중치 합으로 계산되는데 가중치를 어떻게 주느냐에 따라 상이한 의미를 갖게 된다. 회전 변형에 견고한 특성을 갖기 위해 본 논문에서는 0°, 45°, 90°, 135° 회전 각각에 대하여 *cont* 값과 *asm* 값을 구한 후, 이들 각각의 평균 값을 계산하여 최종 f_3 와 f_4 의 값으로

정한다. Contrast와 ASM을 계산하는 수식은 다음과 같다.

$$f_3 : cont = \text{avg}_{0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ} \left(\sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} P_{i,j} (i-j)^2 \right)$$

$$f_4 : asm = \text{avg}_{0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ} \left(\sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} P_{i,j}^2 \right)$$

위 수식에서 $P_{i,j}$ 는 GLCM의 셀 값, i 와 j 는 매트릭스에서의 행과 열의 인덱스를 나타낸다. f_3 에서는 i 와 j 값 차이의 제곱의 가중치를 부여하며, 따라서 f_3 는 영상 내에 밝기의 변화가 심한 경우에는 큰 값을 그렇지 않은 경우에는 작은 값을 가지게 되어 영상의 Contrast를 나타내는 척도가 된다. f_4 는 매트릭스 셀의 모든 값에 대하여 제곱의 합을 구하기 때문에 특정 셀의 값이 상대적으로 큰 경우에 높은 값을 가지게 된다. 그러므로 f_4 는 영상 내에 특정한 방향의 변화가 있을 경우, 즉 정렬 정도가 큰 경우에 큰 값을 가지게 되며 영상의 방향성을 나타내는 척도가 된다.

본 논문에서는 Contrast와 ASM이 영상의 회전에 견고한 값을 갖는지 확인하기 위하여 영상 처리 연구에 많이 사용되어온 미국 남가주대학교의 데이터베이스(USC-SIPI Image Database)의 질감(Brodatz textures) 영상 [14]을 대상으로 실험하였다. 그림 9는 각 회전 변형에 대한 Contrast와 ASM 값의 변화를 보여주고 있으며 실험 결과에서 알 수 있듯이 Contrast와 ASM은 영상의 회전 변형에 관계 없이 거의 일정한 값을 갖는다.

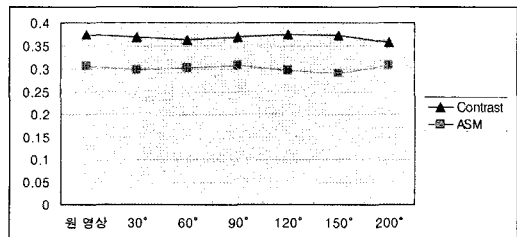


그림 9 회전에 따른 질감의 변화

그림 10은 앞에서 언급한 5가지의 결함 유형에 대하여 Contrast와 ASM을 표시한 것으로서 각 결함 유형에 따라 상당한 특징 값의 차이를 보여 유형 구분이 가능함을 관찰할 수 있다.

템플릿 데이터베이스는 자주 발생하는 기준 결함 영상에 대하여 미리 추출한 특징 값을 저장해 놓은 데이터베이스이다. 본 논문에서 추출한 특징인 f_1, f_2, f_3 및 f_4 는 결함의 유형을 결정하기 위하여 사용되며 표 1은 이러한 결함 유형에 대한 템플릿 데이터베이스의 예를 나타낸다.

표 1 템플릿 데이터베이스

TID	f_1	f_2		f_3	f_4	DESC.
T01	0.057	(0.577,	0.641)	0.089	0.843	쿠닉
T02	0.183	(0.433,	0.397)	0.216	0.551	기포
T03	0.619	(0.333,	0.429)	0.604	0.183	피트
T04	0.235	(0.579,	0.459)	0.366	0.451	실
T05	0.134	(0.439,	0.462)	0.181	0.648	이물

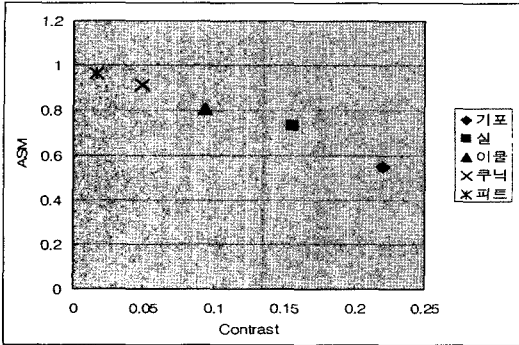


그림 10 결함 유형에 따른 Contrast와 ASM 분포

결함 유형 결정은 결함 영상으로부터 추출한 특징 값과 템플릿 데이터베이스 내의 기준 결함 영상의 특징 값 사이의 유사도(similarity) 계산을 통하여 이루어진다. 유사도는 영상의 결함 영역의 특징 값과 템플릿 데이터베이스의 각 템플릿의 특징 값 간의 거리 함수로써 표현되며 거리가 가까울수록 유사도가 높아지게 된다. 결함 유형 결정은 데이터베이스 내의 기준 결함 영상과의 거리 중 가장 작은 거리 값을 갖는 기준 결함 영상과 매칭시켜 결함 유형을 결정하게 된다. 영상의 결함 영역 R 과 템플릿 데이터베이스의 각 템플릿 T 와 의 거리 $dist(R, T)$ 계산은 다음의 수식을 통해 계산된다.

$$dist(R, T) = \sum_{i=1}^n w_i \cdot d_i$$

여기에서, d_i 는 특징 i 에 대한 R 과 T 의 거리 함수를 나타내며, n 은 추출하는 특징의 개수($n=4$), w_i 는 특징 i 에 대한 가중치이다($\sum w_i=1$). 각 특징에 대한 거리 함수 d_i 는 각각 다음 식으로 계산한다.

$$d_1 = |dr_ratio_R - dr_ratio_T|$$

$$d_2 = (C_R - C_T)^T (C_R - C_T)$$

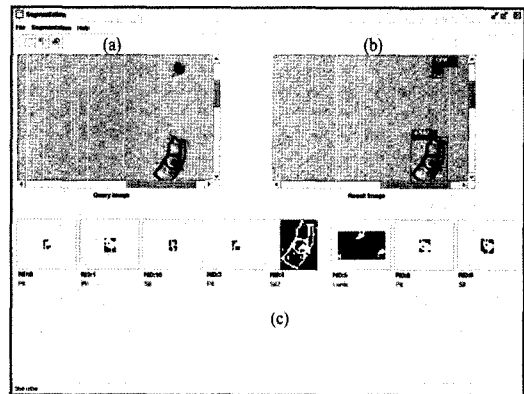
$$d_3 = \frac{|cont_R - cont_T|}{|cont_R + cont_T|}, \quad d_4 = \frac{|asm_R - asm_T|}{|asm_R + asm_T|}$$

위 식에서 d_1 은 결함 영역의 MBR에 대한 실제 결함 영역의 넓이 비율을 거리 값으로 나타낸 것이며, d_2 의 C_R 과 C_T 는 각각 R 과 T 의 결함 영역의 MBR에 대한

중심의 좌표를 나타내는 벡터량이며, 따라서 d_2 는 이 두 벡터 간의 유클리디안 거리가 된다. d_3 및 d_4 는 각각 R 과 T 에 대한 Contrast 및 ASM 값의 차이를 정규화(normalization)하여 거리 함수로 나타낸 것이다.

4. 시스템 구현 및 실험 결과

제안한 기법의 성능을 검증하기 위하여 필름 결함 검출 시스템(FDIS)을 구현하였으며, 이 시스템은 Window XP Server 환경에서 Java 언어를 사용하여 개발되었다. 실제 결함 검출 시스템은 영상을 획득하는 비전 시스템, 획득된 영상을 분석하는 영상처리 시스템, 그리고 머신 컨트롤 부분으로 구분할 수 있는데 본 논문에서 구현한 부분은 영상처리 시스템 부분이다. 다음 그림 11은 FDIS를 이용하여 테스트 영상을 화면에 표시한 후 결함 영역을 찾아 결함 유형을 결정하는 화면이다.



(a) 질의 영상 (b) 결함 영역(MBR) (c) 추출된 결함 영역에 대한 이진 영상

그림 11 결함 검출 및 결함 유형 결정을 위한 시스템 (FDIS)

위의 시스템 화면 중 (a) 부분은 질의 영상을 브라우징할 수 있는 영상 뷰어, (b) 부분은 질의 영상 내에 포함된 결함 영역을 추출하여 MBR로 표시한 것이며, (c) 부분은 질의 영상 내의 각 결함 영역을 추출하여 이진 영상으로 표시한 화면이다. 실험의 목표는 첫째, 테스트 영상에서 결함 영역을 검출하는 것이고, 둘째, 검출한 결함 영역을 분석하여 그 결함 영역에 포함된 결함이

쿠닉, 피트, 실, 기포, 이물 중 어느 유형에 속하는지 결합 유형을 결정하는 것이다. 실험에서 사용된 테스트 영상은 결합 검출 시스템에서 사용되는 영상이 일반적으로 일정 비율 확대된 대용량 영상임을 고려하여 1000×1000 픽셀 크기의 영상으로 하였으며 각 결합 유형을 포함하는 45개의 영상을 사용하였다. 제안한 기법이 영상의 회전 변형에 견고함을 입증하기 위하여 테스트 영상 내의 결합을 30°, 60°, 90°로 회전한 변환된 영상에 대해서도 실험을 수행하였다. 실험에서 실제 결합 영역과 잡음의 크기를 고려하여 블록 사이즈는 3×3 픽셀로 정하였고 결합 영역 결정에 있어서 5개 미만의 블록을 포함한 영역은 결합 영역 결정에서 배제시켜 영상의 잡음을 제거할 수 있게 하였다. 결합 유형 결정을 위한 템플릿 데이터베이스는 각 영상에 대하여 결합을 추출하여 육안으로 결합 유형을 결정하고, 이 결합 영역으로부터 특징 값($f_1 \sim f_4$)을 추출하여 표 1에서 보인 바와 같은 템플릿 데이터베이스를 구축하였다. 결합 영역의 유사도 계산에 필요한 가중치는 결합 유형 간의 유사도 차이를 최대화 하기 위하여 특징 값 f_1, f_2, f_3, f_4 의 가중치 실험을 통하여 각 특징 값에 대해 0.35, 0.15, 0.25, 0.25로 가중치를 정하였다.

FDIS 를 이용한 실험 결과, 테스트 영상에서 결합 영역을 검출하는 첫번째 실험에서 45개의 테스트 영상에서 모든 결합 영역을 빠른 시간(평균 0.64 초) 안에 검출하였다(Precision=1, Recall=1). 검출한 결합 영역을 분석하여 결합 유형을 결정하는 두 번째 실험에서, 변형하기 전의 원 영상에 대한 실험에서는 그림 12와 같이 Precision은 0.87-1.0의 분포를 보이고 평균 0.96이며, Recall의 경우 0.85-1.0, 평균 0.95로 결합 검출의 정확도가 양호한 것을 관찰할 수 있다. 또한, 회전 변형을 적용한 경우의 결합 유형 검출 실험에서는 그림 13과 같이 Precision은 0.86-1.0의 분포를 보이고 평균 0.95을 나타냈으며, Recall의 경우 0.60-1.0, 평균 0.89로 정확도가 원 영상의 경우에 비해서는 다소 저하되나 그 차이가 미미하여 제안한 기법이 회전 변환에 대하여 견고함을 알 수 있다. 그러나 회전 변환 실험에서 쿠닉 유형의 경우 Recall이 0.60으로 비교적 정확도가 낮은 결

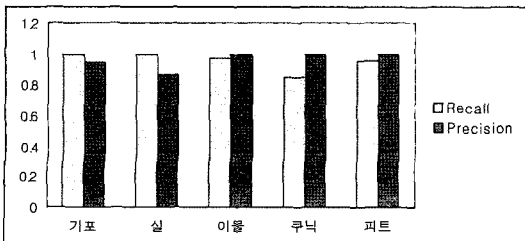


그림 12 원 영상에 대한 결합 유형 검출 실험 결과

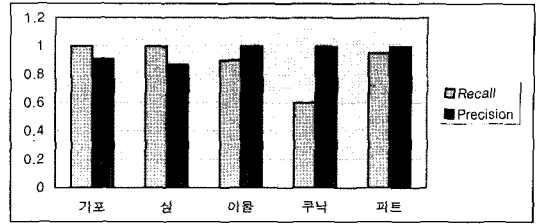


그림 13 회전 변형을 적용한 경우의 결합 유형 검출 실험 결과

과를 보이고 있는데, 이는 쿠닉인 경우에는 크기가 미세한 다수의 결합들이 산재하여 분포하는 경향을 보임으로써, 아주 작은 결합이 잡음으로 간주되기 때문에 나타나는 현상이다. 추후 연구로써 이 경우에 적합한 특징을 정의하고 이를 기반으로 보다 정교한 결합 유형의 판정에 관하여 연구할 예정이다.

5. 결론

본 논문에서는 필름 제작 마지막 단계에서 수행되는 필름의 결합 검출 및 결합의 유형을 판정하기 위한 필름 결합 검출 시스템(FDIS)을 설계하고 이를 구현하였다. 제안한 시스템은 많은 잡음이 포함되어있는 편광 필름 영상에서 잡음을 제거하기 위한 전처리 과정으로써의 다양한 영상 필터링이나 블러링 과정 없이 영상 블록화 과정을 통하여 영상에서 결합 영역을 빠르게 추출할 수 있도록 설계되었다. 또한, 결합 유형 판정을 위해 결합 영역에 대하여 MBR에 대한 결합의 넓이 비율, 무게중심, Contrast 및 ASM 등의 특징을 추출하여 템플릿 매칭 기법을 이용하여 결합 영역의 형태에 따라 결합 유형을 결정할 수 있게 하였다. FDIS를 이용한 실험 결과, 모든 테스트 영상에서 결합 영역을 빠른 시간 안에 빠짐 없이 검출하였으며, 검출한 결합 영역을 분석하여 결합 유형을 판정하는 실험에서도 평균 Precision 0.96, Recall 0.95로 정확도가 매우 높은 것을 관찰할 수 있었다. 또한, 회전 변형을 적용한 경우의 결합 유형 검출 실험에서는 평균 Precision 0.95, Recall 0.89로 제안한 기법이 회전 변환에 대하여 견고함을 알 수 있었다.

향후 연구 계획으로는 회전 변형에서 비교적 낮은 Recall을 보인 쿠닉 유형에 대하여 적합한 특징 추출로 보다 정확한 결합 유형의 판정에 관하여 연구할 예정이며, 패턴 인식 기술을 응용한 영상 세그멘테이션 기법에 대하여 연구하여 시스템의 성능을 개선시킬 예정이다. 패턴 인식 기법을 사용하여 각 결합 영역에 대하여 특정 패턴의 형태와 매칭시킴으로써 다양한 결합 영역에 대하여 적절한 결합 유형 결정을 가능하게 할 수 있리라 기대된다.

참고 문헌

- [1] K. Nakashima, "Hybrid inspection system for LCD color filter panels," Proceedings of the 10th International Conference on Instrumentation and measurement Technology, (1994), pp. 689-692.
- [2] S. M. Sokolov, A. S. Treskunov, "Automatic vision system for final test of liquid crystal display," Proceedings of the 1992 IEEE International Conference on Robotics and Automation, (1992), pp. 1578-1582.
- [3] Chi-Jie Lu, Du-Ming Tsai, "Defect inspection of patterned thin film transistor-liquid crystal display panels using a fast sub-image-based singular value decomposition," International Journal of Production Research, Vol. 42, No. 20 (October, 2004), pp. 4331-4351.
- [4] N. S. Chang and N. S. Fu, "Query-By Pictorial Example," Proceedings of IEEE Trans. On Software Engineering, (1980).
- [5] 박중성, 정규원, 강찬구, "비전 시스템을 이용한 LCD 용 편광 필름의 결함 검사에 관한 연구", 산업과학기술연구 논문집, 17권(2003), pp. 47-54.
- [6] D. Androutsos, et al, "Image Retrieval Using Directional Detail Histograms," Proc. of SPIE Storage and Retrieval for image and Video Databases VI, (1998), pp. 129-137.
- [7] J. Fan and D. K. Yau, "Automatic Image segmentation by Integrating Color-Edge Extraction and Seeded Region Growing," IEEE Transactions on Image Processing, Vol. 10(2001), pp.1454-1466.
- [8] Y. L. Chang and X. Li, "Adaptive Image Region Growing," IEEE Transactions on Image Processing, Vol. 3(1994), pp. 868-872.
- [9] S. A. Hijatoleslami and J. Kittler, "Region Growing: A New Approach," IEEE Transactions on Image Processing, Vol. 7(1998), pp. 1079-1084.
- [10] T. Pavlidis and Y. T. Liow, "Integrating Region Growing and Edge Detection," IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 12(1990), pp. 225-233.
- [11] C. Chu and J. K. Aggarwal, "The Integration of Image Segmentation Maps Using Region and Edge Information, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence," Vol. 15(1993), pp. 1241-1252.
- [12] H. D. Cheng, et al., "Color Image Segmentation: advances and prospects," Pattern Recognition, Vol. 34(2001), pp. 2259-2281.
- [13] R. M. Haralick, K. Shanmugam and I. Dinstein, "Textural Features for Image Classification," IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics. SMC, Vol. 3, No. 6(1973), pp. 610-620.
- [14] USC-SIPI Image Database, (<http://sipi.usc.edu/services/database/>)



윤영근

2004년 한국외국어대학교 산업정보시스템공학부(학사). 2006년 한국외국어대학교 산업정보시스템공학과(석사). 2006년~현재 3B시스템즈 연구원. 관심분야는 데이터베이스, 데이터마이닝, 멀티미디어 데이터베이스, 메타 휴리스틱



이석룡

1984년 연세대학교 기계공학과 학사 1993년 연세대학교 산업공학과 전자계산 전공 석사. 2001년 한국과학기술원 정보 및통신공학과 컴퓨터공학전공 박사. 1984년~1995년 한국IBM 소프트웨어 연구소 선임연구원. 1995년~2001년 안산1대학 조교수. 2002년~현재 한국외국어대학교 산업정보시스템공학부 부교수. 관심분야는 멀티미디어 데이터베이스, 데이터마이닝, 정보검색 등



박호현

1987년 2월 서울대학교 계산통계학과 학사. 1995년 8월 한국과학기술원 정보및통신공학과 컴퓨터공학전공 석사. 2001년 2월 한국과학기술원 전자전산학과 전산학 전공 박사. 1987년 1월~2003년 2월 삼성전자 정보통신연구소 수석연구원. 2003년 3월~현재 중앙대학교 전자전기공학부 조교수. 관심분야는 멀티미디어 스트리밍, 멀티미디어 정보검색, 시공간 데이터베이스



정진완

1973년 서울대학교 공과대학 전기공학과(학사). 1983년 University of Michigan 컴퓨터공학과(박사). 1983년~1993년 미국 GM 연구소 전산과학과 선임연구원 및 책임연구원. 1993년~현재 한국과학기술원 전산학전공 부교수 및 교수. 관심분야는 XML, 시맨틱웹, 멀티미디어 데이터베이스, 스트림 데이터 및 센서 네트워크 데이터베이스



김상희

1985년 서강대학교 전자계산학과(공학사) 1987년 서강대학교 전자계산학과(공학석사). 2004년 한국과학기술원 전산학과(공학박사). 1994년~1995년 미국 Hughes Training Inc.에서 항공기 시뮬레이터 개발(교환 연구원). 1987년~현재 국방과학기술연구소 책임연구원. 관심분야는 실시간 3차원 렌더링, 가상 현실, 영상데이터베이스, GIS, 컴퓨터 그래픽스