JKIICE Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering

한국정보통신학회논문지(J. Korea Inst. Inf. Commun. Eng.) Vol. 17, No. 9 : 2145~2152, Sep. 2013

국부 이진 패턴 분석에 기초한 지절 결함 검출 시스템 구현

김진수*

Implementation of Paper Cutting Defect Detection System Based on Local Binary Pattern Analysis

Jin-soo Kim*

Department of Information and Communication Engineering, Hanbat National University, Daejeon 305-719, Korea

요 약

제지 제조 산업은 대규모 설비가 요구되는 장치산업으로서 생산 설비의 자동화가 꼭 요구된다. 특히 제조공정의 효율성을 얻기 위해서는 제지 제조 공정 중에서 발생하는 지절의 결함을 효과적으로 검출하고 이를 분류하는 효율적인 요소 기술을 필요로 한다. 본 논문에서는 기존의 제지 제조 공정 방식의 문제점을 제시하고, 이를 효과적으로 개선하기 위하여 국부 이진 패턴 분석에 의한 지절 결함 검출 시스템을 제안하고 구현된 결과를 제시한다. 제안한 시스템은 제지 지절 결함에 대해 국부 이진 패턴 분석법을 이용하여 분류하고 이를 인식하는 방식으로 구성된다. 제안된 시스템은 에지형과 영역형 결함으로 지절 결함으로 분류하고, 현장 시스템에 설치되어 안정적인 결과를 보임이 검증되었다.

ABSTRACT

Paper manufacturing industries have huge facilities with automatic equipments. Especially, in order to improve the efficiency of the paper manufacturing processes, it is necessary to detect the paper cutting defect effectively and to classify the causes correctly. In this paper, we review the problems of web monitoring system and web inspection system that have been traditionally used in industries for defect detection. Then we propose a novel paper cutting defect detection method based on the local binary pattern analysis and its implementation to mitigate the practical problems in industry environment. The proposed algorithm classifies the defects into edge-type and region-type and then it is shown that the proposed system works stably on the real paper cutting defect detection system.

키워드 : 지절 결함, 검출, 국부 이진 패턴

Key word : Paper cutting defect, Detection, LBP

접수일자 : 2013. 03. 21 심사완료일자 : 2013. 04. 23 게재확정일자 : 2013. 05. 13

* **Corresponding Author** Jin-soo Kim(E-mail: jskim67@hanbat.ac.kr Tel:+82-42-821-1147)
Department of Information and Communication Engineering, Hanbat National University, Daejeon 305-712, Korea

Open Access http://dx.doi.org/10.6109/jkiice.2013.17.9.2145 print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

ⓒThis is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(http://creativecommons.org/li-censes/by-nc/3.0/) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.
Copyright Ⓒ The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

Ⅰ. 서 론

현재 제지산업은 펄프를 생산하는 펄프제조업과 생산되어진 펄프 및 폐지를 원료로 하여 각종 종이 및 판지 제조업으로 구성된다[1]. 이러한 제지산업에 대해 세계 각국은 중요도를 고려하여 자급체계를 유지하고 있으며, 대규모 설비를 필요로 하여 매우 많은 비용으로 한 번 구축되면 쉽게 바꿀 수 없는 산업이다. 현재 국내에 설치된 대부분의 제지공장은 자동화가 구축되어 있으나 제조 과정에 있어 여러 가지 원인으로 인하여 결함이 자주 발생함으로써 효율성을 저하시키고 있는 상황이다. 특히, 제조공정상에서 다양한 외부 및 내부 요인에 의해서 제지가 끊어지는 현상인 지절(paper cutting)이 빈번히 발생하여 대규모 설비의 효율성을 떨어뜨리고 있다. 지절은 생산성에 지대한 영향을 미치기 때문에 매우 중요한 요소가 되고 있고, 업체마다 사활을 걸고 이를 낮추기 위한 방안에 혈안이 되어 있다. 따라서 전체 제지제조 공정의 효율성을 개선하여 부가가치를 증대하기 위해서는 지절을 효과적으로 검출하고 지절의 원인을 분석하여 지절이 발생하지 않도록 제어하는 것이 요구된다[2][3].

제지공정은 각 공정마다 수십 개의 크고 작은 롤이 제지원지를 보통 1000-1600 m/min의 속도로 이동시킬 때 주로 초지단계에서 발생되고 있다. 한 생산라인에서 하루에 보통 2-3번 정도가 발생하고 있고, 한 번 발생시마다 5분에서 10분 정도의 제지생산의 저하를 초래한다. 흔히 1600 m/min 속도의 공정의 경우에 20분 정도에 한 롤을 생산하기 때문에 지절에 의한 피해는 하루에 수천만 원 정도가 발생되고 있다. 지절의 결함에는 전체 종이의 두께가 균일해야 하나 그렇지 않은 경우, 종이의 앞면, 뒷면 등에 습도가 균일해야 하나 그렇지 않은 경우, 종이 전체가 동일한 밝기의 균일한 색깔이 아닌 경우, 종이에 몇 mm 정도의 홀이 발생하는 경우, 인쇄할 경우 글씨가 인쇄 안되는 경우, 어느 특정부분에 종이가 뭉쳐있는 경우, 종이에 긁힘이 나타나는 현상, 종이가 여러 겹으로 접히는 경우, 그리고 물방울이나 이물질이 종이에 떨어져 발생하는 흑점 등등이 주요 지절에 해당된다. 이와 같은 지절을 검출하는 시스템으로는 크게 두 가지로 구별하고 있다. 첫 번째는 주로 초정공정에서 이물질의 유입에 의해 스크래치, 홀, 뭉침, 겹침과 같은 지절의 원인을 파악하기 위해 고속 카메라로 제지를 촬영하여 녹화하는 웹모니터링 시스템(WMS: Web Monitoring System)이고, 두 번째는 종이가 와인더를 통해서 롤에 감기기 전에 지절을 검출하여 제지의 결함 원인을 찾고 재발을 방지하도록 하기 위한 웹인스팩션 시스템(WIS: Web Inspection System) 등이 있다. 이러한 기존의 시스템은 대부분 고가의 외산 장비에 의존하며 1980년대에 도입된 설비들이 주류를 이루고 있다. 요즘은 최신 장비도 출시되어 있어 투자 여력있는 업체는 최신장비로의 교체를 검토하고 있으나 초기 설치 및 장비 비용이 막대하고 또한 부품 등을 교체할 때 소요되는 비용이 막대하고, 각종 A/S서비스 등 유지보수 비용도 매우 높은 실정이다. 본 논문에서는 이러한 기존의 대규모 설비를 교체하지 않으면서 성능을 개선하기 위한 방법을 제안한다. 본 논문에서 제안한 방식은 WIS에서 입력되는 영상들에 대해 현재 얼굴인식에 많이 사용되고 있는 국부 이진 패턴(LBP: Local Binary Pattern) 분석을 통하여 지절을 검출하고, 검출된 지절이 어떤 종류의 결함인지를 분류하는 방식을 제안한다[4].

Ⅱ. 기존의 제지제조공정 결함 검출시스템과 LBP알고리즘의 개요

2.1. 기존의 제지제조공정 결함검출 시스템

제지 제조공정은 크게 4가지의 공정으로 이루어진다[4]. 즉, 원료를 물에 풀어 이물질을 제거하는 조성공정, 탈수/압착/건조에 의해 제지기능을 완성하고 다림질을 통한 광택과 평활성 등을 부여하는 초지공정, 원지의 인쇄적성 및 후가공성을 위하여 도공액을 도포하는 도공공정, 그리고 완성된 종이를 재단 및 포장하는 완정공정 등으로 이루어진다. 이러한 제지 제조공정에는 수십 개의 크고 작은 롤이 서로 동기화되어 고속으로 회전하고 있고, 제지는 초정공정에서 완정공정까지 각 롤을 통과함으로써 완성된다. 따라서 지절이나 품질저하 요인이 되는 제지의 결함 제지가 롤을 통과할 때 주로 발생하고 있기 때문에, 지절의 품질저하가 발생할시 그 원인을 찾기 위해서는 해당 롤 및 이전 롤을 점검할 필요성이 제기된다.

제지 생산공정에서 행하는 품질관리는 지절감시와 제지결함검출이다. 지절은 생산성에 지대한 영향을 미

치기 때문에 매우 중요한 요소가 되고 있고 업체마다 사활을 걸고 이를 낮추기 위한 방안에 혈안이 되어있다. 제지공정의 지절 검출 시스템은 크게 두 가지로 구별할 수 있는데, 주로 초정공정에서 지절감시를 행하는 웹모니터링 시스템(WMS)과 종이가 와인더를 통해서 롤에 감기기 전에 행하는 결함검출을 행하는 웹인스팩션 시스템(WIS)으로 수행한다. 웹모니터링 시스템은 초정공정에서 롤에 각종 이물질의 유입에 의해서 발생되는 지절의 원인을 파악하기 위해서 고속 카메라로 제지를 촬영하여 녹화한다. 또한 지절의 직접적인 원인이 되는 찢겨짐, 균열 등을 검출하여 해당 롤의 위치와 원인을 파악하는데 도움을 준다. 본 시스템은 제지 제조공정상 각 롤마다 설치하는 것이 바람직하나 공간적인 제약이나 효율성 등을 고려하여 설치 개수를 결정하는 것이 필요하다. 웹인스팩션 시스템은 제지의 품질에 영향을 주는 각종 결함들을 검출하는 결함검출시스템이다. 주로 에지에서의 스크레치, 홀, 찢겨짐, 접힘 등을 검출하여 향후 재단시 종이에 압력을 가할 때 발생하는 지절을 사전에 예방하기 위한 것이다[5][6][7][8][9].

한편 요즘은 정보통신 기술의 발달로 반도체 제조과정에 있어 발생되는 결함에 대해 영상처리 기법에 기초한 최신장비도 개발되고 보급되고 있으나 제지지절감시에 대한 효과적인 알고리즘이나 제품은 제시되고 있지 않는 실정이다. 지절감시에 사용되고 있는 기존의 WMS 및 WIS는 1980년대에 도입된 대부분 고가의 외산 장비이고 또한 유지보수 비용이 매우 많이 소요되고 있는 실정이다. 따라서 저가이며 효율성이 있는 우수한 국산 제품을 개발하여 공급할 필요성이 제기되고 있고, 또한 저비용에 신속한 유지보수 및 업그레이드 서비스를 제공할 수 있는 경쟁력있는 국내 설비업체의 양성이 시급하다. 본 논문에서는 영상처리기법을 통하여 지절감시 기능의 효율성을 개선하기 위한 기법을 제안한다.

2.2. 국부이진패턴 분석법의 기본원리

지능화된 영상 감시를 위한 다양한 시도 가운데 텍스쳐의 통계적 특징을 기반으로 한 방법으로서 국부 이진 패턴(LBP) 방식이 많이 연구되어 오고 있다. LBP방식은 그림 1에 나타낸 것과 같은 예를 가지며, 현재 위치의 화소 밝기 값과 이웃하는 화소의 밝기 값의 차이를 0, 1의 이진 형태로 표현하며 다음과 같다.

$$LBP_{PR}(x_c,y_c) = \sum_{p=0}^{P-1} s(g_p - g_c)2^p$$
$$s(x) = \begin{cases} 1, & x \geq 0 \\ 0, & x < 0 \end{cases} \quad (1)$$

여기서, P와 R은 각각 인접 화소의 수와 원의 반지름을 의미하고, gc와 gp은 각각 현재 화소의 밝기 값과 이웃 화소의 밝기 값을 의미한다.

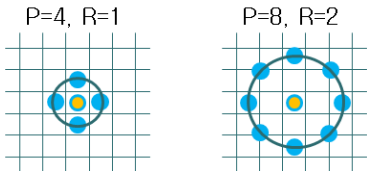

그림 1. 지역 이진 패턴의 예[3][9]
Fig. 1 Example of Local Binary Pattern[3][9]

그림 1의 현재 위치 화소 밝기 값을 문턱치로 하여 주위 화소 밝기 값이 큰가 작은가에 따라 0 또는 1로 표현할 수 있으며, 이에 기초하여 LBP코드 값이 0 ~ 2P-1사이의 값으로 표현할 수 있고, 영역 내 각 화소들에 대한 이진 패턴 코드가 주어지면 그림 2와 같은 히스토그램으로 표현이 가능하다.

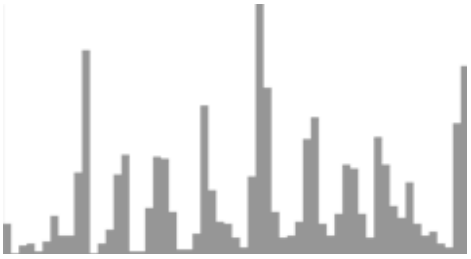

그림 2. LBP 히스토그램의 예[9]
Fig. 2 Example of LBP histogram[9]

이러한 히스토그램은 결함 영역내의 텍스쳐 정보를 1차원적으로 보여주는데 같은 결함의 경우 유사한 형태의 히스토그램이 만들어지게 된다. 사용자가 먼저 분류한 결함 영역들에 대해 히스토그램을 먼저 추출하고, 같은 결함에 의한 히스토그램들을 이용해 대표 모델의 히스토그램을 생성한다. 이렇게 해서 각 결함별 모델 히스토그램을 만들어 결함영역과의 히스토그램

유사도를 측정한다. 이때 유사도는 다음과 같이 히스토그램의 교차(histogram intersection)를 사용하였다.

$$\bigcap(\vec{a},\vec{b}) = \sum_{n=0}^{N-1} \min(a_n, b_n) \quad (2)$$

이때, $\vec{a}$와 $\vec{b}$는 LBP 히스토그램을 의미하고, N은 히스토그램의 전체 명암도 개수를 나타낸다. 이 과정을 통해 검출된 결함의 종류가 분류되고 결함의 각종 정보가 계산되어 출력된다. 결국 현재 검출된 영역의 히스토그램과 모델 히스토그램의 유사도가 가장 높은 종류의 결함으로 분류된다.

Ⅲ. 지절 결함 검출시스템의 구현

3.1. 제안된 지절 결함 검출시스템의 구현

본 논문에서는 결함을 에지형과 영역형으로 분류하고, 각 결함 검출 알고리즘을 개발하고 구현하였다. 라인스캔 카메라의 최대 가로 해상도 2048이고, 세로 방향은 제지 라인에서 종이가 이송되는 방향으로 초당 68kHz으로 샘플링을 수행하였다. 그림 3의 좌측에 흰색 영역부분 부터가 조명이 시작되는 부분이고 그 다음 흰색 영역부분은 조명이 그대로 라인스캔 카메라로 입력되는 부분이며, 검은 색이 시작되는 부분이 실제로 종이가 지나가고 있는 영역이다. 조명장치는 생산 라인의 안전성을 손상하지 않는 범위로 설치하였는데, 보통 종이에서 10cm정도 떨어진 위치에 장착되었다. 카메라를 최대 속도로 샘플링하기 위해 1/68,000(14.7usec)의 셔터 속도로 처리하였고, 입력된 영상에 대해 검사 알고리즘을 개발하였다.

3.2. 지절 결함의 종류

고온 다습한 환경적인 요인과 고속 생산 공정에 의해 다양한 유형의 결함이 발생한다. 발생되는 결함의 생긴 형태적 모습에 의해 선형 결함(linear defects), 원형 결함(circular defects), 그리고 큰 얼룩형 결함으로 나타난다. 그리고 결함이 발생하는 위치에 따라 에지형 결함과 영역형 결함으로 나뉜다. 에지형 결함은 그림 4에 나타낸 것과 같이 에지가 뜯긴 형태와 찢긴 형태로 나뉜다. 종이의 가장자리를 제외한 안쪽 부분에서 발생하는 결함을 통칭하여 영역형 결함이라고 분류되는데, 크기가 생산 제품의 품질을 떨어뜨리고 결함의 크기가 큰 경우 지절로 이어지는 경우가 발생하게 된다.

3.3. 제안된 알고리즘의 구현

본 논문에서는 에지형 결함과 영역형 결함에 대해 각각 검출하고 분류하는 알고리즘을 개발하여 구현하였다.

3.3.1. 에지형 결함검출 알고리즘

먼저 에지형 결함 검출을 위해 에지 프로파일의 추출을 시도하였다. 그림 4에 나타낸 에지형 지절 결함에 대해 가로축으로 밝기 값을 읽어내면 화소를 통해 밝기가 변화하는 것을 검출할 수 있다. 최대밝기 변화위치를 찾기 위해서는 프로파일을 미분하는 방법을 사용하며, 절대 크기가 가장 큰 위치가 최대밝기 변화위치가 된다. 그리고 더욱 정밀도를 높이기 위해서는 부화소(sub-pixel) 단위로 극 저점을 계산하는 방법을 사용할 수 있는데 일반적으로 이 방법의 사용이 화소단위의 결과에 비해 5배 이상의 정밀한 결과를 출력하는 것으로 알려져 있는데, 본 논문에서는 1/4화소단위까지 구현하였다. 종이의 가장자리가 찢어지는 경우와 갈라지는 경우와 같은 에지형 결함이 존재하는데 이를 검출하기 위해 다음과 같은 단계별 파라미터를 추출한다.

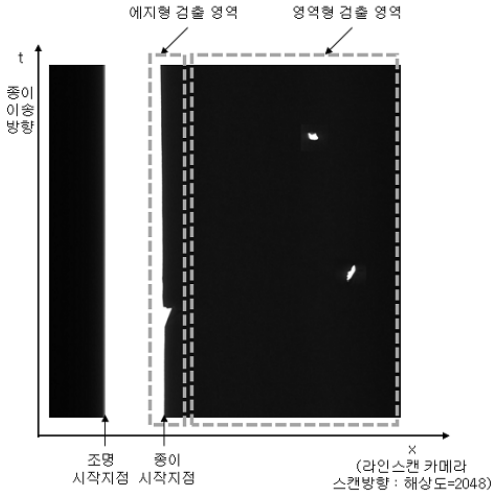

그림 3. 검사 영상의 획득
Fig. 3 Inspection image acquisition

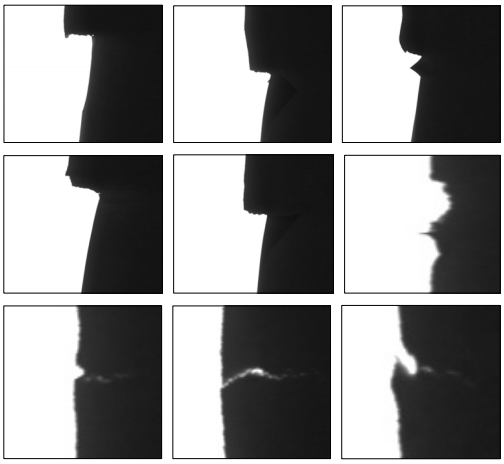

그림 4. 에지형 지절 결함의 예
Fig. 4 Example of edge-type paper defects

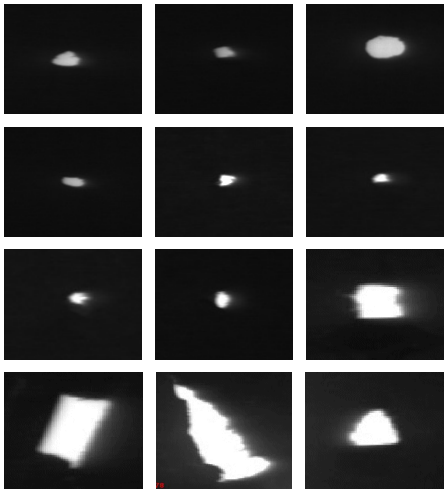

그림 5. 영역형 지절 결함의 예
Fig. 5 Example of ring-type paper defects

단계1. 에지 프로파일의 평균값, 분산, 최대값, 최소값을 추출한다. 현재 프레임에서의 에지 프로파일의 평균값과 분산은 이전 프레임과의 차이 및 시스템의 안정성을 평가하기 위해 사용된다. 최대값과 최소값의 차이 역시 시스템의 안정성을 나타내는 좋은 지표가 된다.

단계2. 에지형 결함 후부영역을 검출한다. 에지형 결함들은 주로 찢어지거나 갈라지는 현상으로 인해 프로파일에서 큰 값으로 나타나게 된다. 따라서 결함 후보 영역을 검출하는 과정을 통해 비정상적으로 큰 국부 최대 위치를 찾는다.

단계3. 후보 영역의 결함 크기 측정하고 결함여부를 판단한다. 크기가 가장 큰 국부 최대 위치로부터 이와 관련된 결함 영역을 측정하여 결함의 깊이와 폭을 측정하여 이를 결함 영역으로 정의한다. 만일 기존에 찾은 국부 최대 위치들 중에서 결함 영역에 포함되는 것이 있으면 후보 영역에서 제외한다. 결함 영역은 깊이를 기준으로 허용 가능한 것인지 아닌지를 검사하여 허용치보다 큰 결함은 결함 영역의 폭을 이용하여 찢어진 결함과 갈라진 결함 중의 하나로 판단한다. 일반적으로 갈라진 결함은 폭이 매우 좁게 나타나며, 찢어진 결함의 경우 비교적 폭도 넓게 나타나게 되므로 실험적으로 추출한 문턱치를 이용하여 사용한다.

단계4. 결함영역의 크기가 허용 가능한 범위에 들어오면 에지형 결함 검출알고리즘을 종료한다.

3.3.2. 영역형 결함 검사 알고리즘

에지형 결함에 대한 검사가 종료되면 다음으로 영역형 결함 검사가 진행된다. 일반적으로 영역형 결함의 검사를 위해서 연결화소분석(Connected Component Analysis)방법을 사용한다. 연결화소분석은 검사대상 영상을 이진화하고 연결된 블롭들을 추출하여 이들을 분석하는 방법이다. 연결화소분석을 통해 결함 블롭을 검출하였을 때, 이를 이용하여 위치 정보와 형태 정보 등 다양한 정보를 추출할 수 있다. 먼저 위치정보, 크기정보, 외곽선정보, 그리고 모멘트 정보 등을 DB화하여 분류하도록 한다. 표 1은 영역형 결함 검사에 사용되는 파라미터들을 요약하고 있다.

영역형 결함 검사에서는 WHole, WLightSpot, WDarkSpot, WScratch, WWrinkle을 검출하는 방법을 구현하였다. WHole결함은 가장 많이 발생하는 유형으로, 종이에 일정한 구멍이 발생하여 Back lighting방식의 조명에서 조사된 빛이 그대로 카메라로 들어와 매우 밝은 블롭을 만들게 되는 결함이다. 이 결함을 검출하기 위해서는 이진화 문턱치는 비교적 높은 값(170이상)을 사용하며 Foreground 블롭이 이 결함의 후보이다. 이 결함을 검출하기 위해 화소의 개수에 의한 면적, 외곽선 넓이와 외곽선 경계에 위치한 화소의 개수, 최대 밝기 값, 평균 밝기 값으로 결함 DB를 구성한다. WLightSpot결함은 종이의 두께가 얇게 형성되었거나 표면에 투명한 액체가 묻어 있는 경우에 발생하는데,

조명에서 조사된 빛이 정상인 종이 영역에 비해 더 많이 투과되어 비교적 밝은 블롭을 만들게 된다.

표 1. 연결화소분석을 위한 파라미터
Table. 1 Parameters for connected component analysis

파라미터		내용
위치 정보	외곽선	(Xmin,Ymin) : 좌상단 꼭지점 좌표 (Xmax, Ymax) : 우하단 꼭지점 좌표
	중심점	$E_cen_X = \frac{X_{\max} - X_{\min}}{2}$ $E_cen_Y = \frac{Y_{\max} - Y_{\min}}{2}$
	무게중심	$Cen_mass_X = \frac{1}{Area}\sum_{(x,y)\in R}\sum x$ $Cen_mass_Y = \frac{1}{Area}\sum_{(x,y)\in R}\sum y$
크기 정보	면적	화소의 개수
	외곽선넓이	가로최대폭 x 세로최대폭
	경계화소수	외곽선 경계에 위치한 화소수
	최대 길이	가로와 세로 방향으로 가장 긴 줄길이
외곽선 정보	폭과 높이	$E_width = Xmax - Xmin$ $E_height = Ymax - Ymin$
	폭 높이 비	$E_WH_ratio = \frac{E_width}{E_height}$
	평균줄길이	$AVR_width = \frac{\sum X_{run}}{Number\ of\ Xruns}$ $AVR_height = \frac{\sum Y_{run}}{Number\ of\ Yruns}$
	블롭길이비	$E_peri_ratio = \frac{perimeter}{E_area}$
모멘트 정보	방향성	최소 관성모멘트 축의 각도
	축비율	주축과 단축의 비율
	퍼짐	결함의 퍼짐정도
	응집도	응집된 특성

이진화 문턱치는 중간정도의 값(120이상)을 사용하며 Foreground 블롭이 이 결함의 후보이다. 실제 검출이 쉽지는 않으나 이 결함을 검출하기 위해 화소의 개수에 의한 면적, 최대 밝기 값, 평균 밝기 값, 영역내의 화소 밝기 값의 분산(40이상) 으로 결함 DB를 구성한다. WScratch결함은 종이 내부에 찍어짐 현상이 발생하는 경우에 나타나는데, WebHole로 판정되는 결함중에서 Perimeter와 Eccentricity, Elongation 등이 크게 나타나는 결함들이 이 유형으로 분류된다. 이 결함은 영역 넓이, 영역 좌표 값의 분산, 영역 평균발밝기 값으로 측정한다. WDarkSpot결함은 종이의 두께가 두껍게 형성되었거나 표면에 이물이 묻어 있는 경우에 발생하는데, 조명에서 조사된 빛이 정상인 종이 영역에 비해 덜 투과되어 매우 어두운 블롭을 만들게 된다. 이진화 문턱치는 작은 값(50이하)을 사용하며 Background 블롭이 이 결함의 후보 영역이다. 이 결함을 검출하기 위해 화소의 개수에 의한 면적, 최소 밝기 값, 평균 밝기 값, 영역내의 화소 밝기 값의 분산으로 결함 DB를 구성한다. WWrinkle결함은 종이가 부분적으로 겹쳐진 부분이 있는 경우 발생하는데, WDarkSpot의 일종으로 볼 수 있으며, 조명에서 조사된 빛이 정상인 종이 영역에 비해 덜 투과되어 매우 어두운 블롭(문턱치 60이하)을 만들게 된다. Eccentricity가 크게 나타나는 WDarkSpot 결함들이 이 유형으로 분류된다. 이 결함은 평균 밝기 값, 영역내 화소의 개수, 밝기 값의 분산, 영역의 좌표 값의 분산 등으로 DB를 구성한다.

Ⅳ. 구현 결과 및 검토

본 논문 연구에서 개발된 시스템은 참고문헌[2]와 [3]의 방법을 개선하여 그림 6과 같이 구성된다. 먼저 라인스캔 카메라로부터 입력되어진 영상을 통하여 결함 의심영역을 추출하고, 입력 영상의 이진화에 따라 에지형 결함과 영역형 결함인지에 대해 결함 요소를 추출한다. 추출한 결함요소에 기초하여 국부 이진 패턴 분류 및 인식 방법에 의해 어떤 종류의 결함인지 분류하는 작업을 수행함과 동시에 경고신호를 발생시키고 이를 저장하고 분석하는 기능을 구현하였다.

본 논문에서 제안한 시스템은 제지제조공장에 직접 구현하여 성능을 확인하였다. 조명 장치에 따라 성능 변화가 있어 안전성을 고려하여 30cm 간격으로 설치하였다. 라인스캔 카메라에 의해 2048개 화소의 가로 해상도를 가지고 이를 1/68,000(4.7초)로 샘플링하였고 이렇게 얻어지는 영상에 대해 약 45일간의 성능 검증 작업을 수행하였다. 본 논문에서 구현한 지절 감시 및 검출 시스템에서는 전형적인 에지형 결함으로서 왼쪽은 찢어짐에 의해 나타나는 결함을 약 1mm까지 검출할 수 있었고, 또한 약0.3mm × 0.3mm정도에 해당되는 화

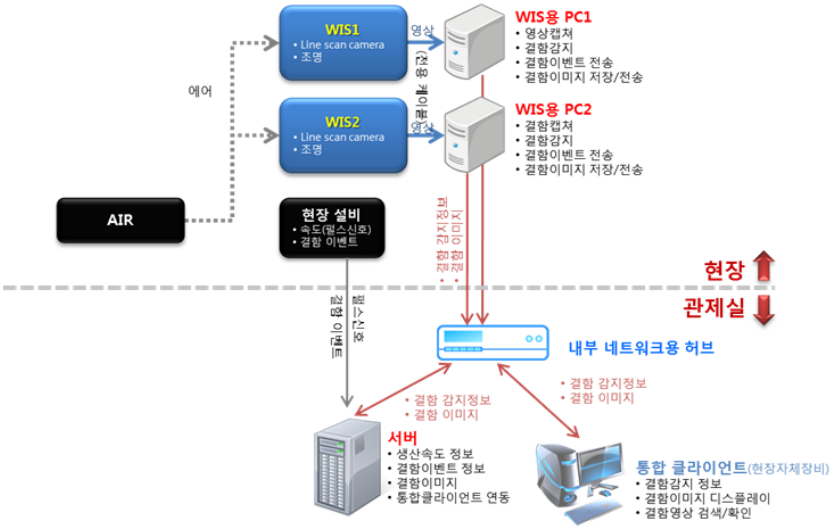

그림 6. 지절 감시 및 검출의 개념도[2][3]
Fig. 6 Conceptual functional block diagram of paper defect inspection and detection[2][3]

소블록의 크기가 2×2미만의 경우에는 잘 검출이 되지 않는 특성이 있으나 모폴로지 연산(침식과 팽창)에 의해 성능을 일부 개선하였다.

본 시스템은 제지 공정에 탑재되어 약 한 달 보름동안 시험 운용된 결과를 표 2에 나타내었다. 실험 방식은 동일한 데이터에 대해 육안, 기존 시스템 그리고 제안 방식의 구현 시스템을 각각 적용하는 방식으로 비교하였다. 표 2는 시험 기간 동안 육안 검출, 기존 시스템에 의한 분류, 그리고 제안된 시스템에 의한 검출 및 분류에 대한 시스템의 성능을 총 요약한 것이다. 실제 결함은 대부분 에지형으로 검출되었으며 에지형 중에서도 찢어짐에 의한 현상이 가장 빈번히 발생되었다.

표 2. 결함 오검출 비율 성능 비교
Table. 2 Performance comparison of defect false-detection rate

결함종류		기존 시스템	제안 시스템
에지형	찢어짐	0.015	0.000003
	갈라짐	0.006	0.002
영역형	5×5 미만	0.03	0.004
	5×5이상	0.00052	0.0000001
전체 평균		0.01315	0.000447

그림 6에 나타낸 것과 같이 찢어짐에 의한 것은 결함 검출이 용이하듯이 제안 시스템은 개선효과가 매우 크게 나타났다. 기존의 시스템에서 발생된 결함은 약 1000회 오류에 대해 15회 정도 오검출 되었으나 본 시스템에서는 1백만 결함 샘플 중에 3회 정도로 오검출 비율이 약 5000배 정도로 획기적으로 개선되었다. 상대적으로 갈라짐은 자주 발생되지 않았으나 약 3배 정도 개선된 효과를 보였다.

지절결함은 대부분이 에지형이나 일부분은 영역형으로 발생된다. 영역형에서 영역형의 면적의 크기가 5×5의 크기 이상에 대해서는 제안된 시스템의 성능은 약 5200배 정도 성능이 개선되었다. 즉, 결함의 크기가 충분히 큰 경우에는 대부분 제대로 영역형 결함으로 분류할 수 있었다.

반면에 영역의 크기가 작은 5×5 미만의 경우에는 약 7.5배 정도의 성능이 개선되었다. 영역이 매우 작은 경우에는 이것에 대한 데이터베이스 구성이 부정확한 경우에 해당되어 개선 효과가 낮았다. 이상의 발생 빈도수를 고려하여 전체적인 성능은 기존 시스템에 비해 약 29.4배 정도의 오검출 비율이 개선되었다.

Ⅴ. 결 론

본 논문에서는 제지제조 공정 중에서 발생되는 지절의 결함을 효과적으로 검출하고 이를 분류하는 효과적인 알고리즘을 개발하였다. 제안한 방식은 지절 결함을 에지형 결함과 영역형 결함으로 나누고 이를 검출하기 위해 국부 이진 패턴 분석에 의한 지절 결함 검출 시스템을 구현하였다. 실제 제지 제조공정에 탑재되어 구현된 결과에 의하면 제안된 시스템은 기존의 시스템보다 효율성을 크게 개선하였다. 그러나 영역형 결함에서 매우 작은 크기의 영역에 대해서는 검출 성능 개선이 팽창과 침식에 의해 일부 성능 개선을 달성할 수 있었다.

본 논문에서 제안한 시스템은 여전히 작은 크기의 영역형 결함에 대해 성능 개선이 제한적이다. 이 부분에서는 라인 스캔 카메라에 대한 조명과 입력 영상의 품질에 의존적이어서 이 부분에 대한 추가적인 개선이 필요하다. 또한 영역형 결함 중에 미세한 얼룩에 대해서도 성능 개선을 위한 작업이 필요하다.

감사의 글

본 논문은 중소기업청에서 지원하는 2012년도 산학연공동기술개발사업(No.C0026918)의 연구수행으로 인한 결과물임을 밝힙니다.

REFERENCES

[1] “Current state and prospect of paper industry”, KDB Industry Economy Issue, pp. 62-81, 2010.

[2] “Development of low-cost defect monitoring and detecting system of paper cutting for improving production efficiency”, GIsystem Co., Research Report, 2010.

[3] “Commercialization of real-time polymer, defect detection imbedded system using local binary pattern analysis”, Netcustomized Co., Research Report, 2012.

[4] Viconsys “Development of monitoring, analysis and detection system of paper machine using new camera application techniques”, Sept. 2011.

[5] D.H. Ballard and C.M. Brown, “Computer vision,” Prentice-Hall, 1982

[6] M.heikkila, M.Pietikainen, “A Texture-based method for detecting moving objects” Proc. British Machine Vision, 2004.

[7] G.Zhao, M.Pietikainen “Dynamic texture recognition using local binary patterns with an application to facial expressions”, IEEE Tr. on PAMI, 2007, pp1.-14.

[8] Jae Y. Lee, Suk I. Yoo, “Automatic detection of region-mura defect in TFT-LCD”, IEICE Trans. Inf. & Syst. vol. 87-D, no. 10, pp. 2371- 2378 Jan. 2004.

[9] Jin-soo Kim, “COF defect detection and classification system based on reference image”, Journal of KIICE, vol. 17, no. 8, pp. 1899~1907, Aug. 2013.

김진수(Jin-soo Kim)

1998년 : KAIST 전기 및 전자공학과 공학박사
1995년 ~ 2000년 : 삼성전자 선임연구원
2000년 ~ 현재 : 한밭대학교 정보통신공학과 교수
2003년 ~ 2006년 : 한국전자통신연구원 초빙연구원
2008년 ~ 2009년 : 텍사스 주립대학교 (UTA) 교환교수
※관심분야 : Distributed Video Coding, 디지털방송, 영상부호화, 영상통신