

다중 스레드를 이용한 실시간 동판 검사 시스템

(A Real-time Copper Foil Inspection System using Multi-thread)

이재광[†] 최등혁^{**}

(Chae-Kwang Lee) (Dong-Hyuk Choi)

요약 제안된 동판 표면 검사 시스템은 PC-기반으로 다중 스레드 기법과 다중 CPU를 이용해 동판 표면의 결함을 실시간으로 검사하는 시스템이다. 초고속 라인 스캔 카메라로 영상 취득 보드에 영상을 실시간으로 취득하여 처리할 때, 더블 버퍼링 방법으로 입출력과 처리가 동시에 수행되어 처리 속도를 높인다. 다중 스레드 기법에서는 시스템 자원 활용과 다중 스레드로 CPU의 사용을 최대화하여 실시간 처리하며, 다중 스레드 구조로도 실시간 처리가 어려운 경우에는 다중 CPU를 사용하여 이를 해결한다. 또한 동판 표면 영상에서 결함 검출하여 분류할 때, 실시간 처리를 만족시키기 위해서 결함영상의 공분산 행렬의 고유치 비율, 명암차 등의 연산으로 분류할 수 있는 방법을 제시한다.

결함의 검출은 조명 불균형에 대한 보상 처리가 적용된 다음 임계치에 의해 검출된다. 검출된 결함은 제안된 분류 방법으로 특징을 분석한 뒤 결함의 형태를 분류한다. 특징은 결함 너비와 고유치 비율, 명암차 등이 사용되었다. 제시된 방법을 검증하기 위해서 총 141개의 결함을 분류하는 실험이 진행되었고, 결과로는 89.4% 성공률을 보였다.

키워드 : 다중 스레드, 실시간 처리, 동판 검사, 표면 검사, 검사 시스템

Abstract The copper foil surface inspection system is necessary for the factory automation and product quality. The developed system is composed of the high speed line scan camera, the image capture board and the processing computer. For the system resource utilization and real-time processing, multi-threaded architecture is introduced. There are one image capture thread, 2 or more defect detection threads, and one defect communication thread. To process the high-speed input image data, the I/O overlap is used through the double buffering.

The defect is first detected by the predetermined threshold. To cope with the light irregularity, the compensation process is applied. After defect detection, defect type is classified with the defect width, eigenvalue ratio of the defect covariance matrix and gray level of defect.

In experiment, for high-speed input image data, real-time processing is possible with multi-threaded architecture, and the 89.4% of the total 141 defects correctly classified.

Key words : Multi Thread, Real-time Processing, Copper Foil Inspection, Surface Inspection, Inspection System

1. 서론

최근 공장 자동화가 보편화되어감에 따라 공장 자동화 시스템이 많이 요구되고 있다. 공장 자동화 기술은 제품의 품질과 생산성 향상을 위한 핵심 기술로써 고부가 가치 산업분야로 부각되고 있다. 본 시스템은 공장 자동화 시스템 중 제품의 표면을 검사하는 것으로 동판 표면의 결함을 검사한다. 결함은 생산 환경이나 공정 자

체 문제 등에서 발생할 수 있으며, 이러한 결함들을 검사하는 비전 시스템이 사람의 눈을 대신함으로써 제품의 품질과 생산성을 향상시켜 더욱 큰 기대효과를 볼 수 있다[1].

비전 시스템과 같은 산업 기반 시스템들은 실시간 처리가 필수적이다. 비전 시스템에서 실시간 처리는 FPGA, 임베디드 시스템, PC-기반 등 다양한 기술로 구현될 수 있다. FPGA나 임베디드 시스템과 같은 시스템은 특정 목적에 대해서 하드웨어로 구현되는 기술로서 속도는 빠르지만 확장성이 부족하다. Soliton사 및 Nagase사는 FPGA를 이용하여 표면 검사 시스템을 구현하였다[2,3]. PC-기반 시스템은 범용적인 목적으로 설

[†] 학생회원 : 건양대학교 정보전자공학과
flychk@chol.com

^{**} 정 회 원 : 건양대학교 컴퓨터공학과 교수
dhchoi@konyang.ac.kr

논문접수 : 2004년 3월 30일

심사완료 : 2004년 10월 8일

계된 PC를 기반으로 하기 때문에 확장성이 풍부하지만 속도가 느리다는 단점이 있다. 이와 같은 PC의 단점은 최근에 들어와서 PC의 성능이 높아지면서부터 비전 시스템들이 PC-기반으로 많이 응용 및 시도되고 있다[4]. Nagase사는 FPGA 전용시스템 대신 PC-기반 시스템을 최근 개발하였다[3]. Parsytec사는 다중 CPU 기반 병렬처리로 표면 검사 시스템을 개발하였으며 결합 형태 구분기능을 가지고 있다[5].

본 시스템에서는 PC-기반으로 다중 스레드 기법과 다중 CPU 기법을 이용해 실시간으로 처리하고 검사하고자 한다. 스레드를 다중으로 구성하여 CPU의 사용을 최대화시켜 실시간 처리가 가능하며 다중 스레드 구조는 실시간 처리가 어려운 경우 CPU를 여러개 사용하여 이를 극복할 수 있다. 이러한 실시간 처리 시스템을 기반으로 동판의 표면 영상으로 취득하여 동판에 결함이 있는지 검출하고 형태를 분류한다. 분류는 실시간 처리를 고려하여 고유치 비율이나 명암차 등 비교적 간단한 연산만으로 구성한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 실시간 시스템에 적용되는 다중 스레드 기법과 다중 CPU 기법에 대해 논하고, 3장에서는 결합 검출 및 분류 방법을 제시한다. 4장에서는 본 논문에서 구현한 동판 표면 검사 시스템에서 결합 형태 분류에 대해 실험을 하고, 실험 결과를 토대로 오분류에 대해 분석한다. 5장에서는 결론 및 향후 연구 과제에 대해 논한다.

2. 다중 스레드와 실시간 처리

본 연구에서는 다중 스레드 기법과 다중 CPU를 기반으로 실시간 처리문제를 해결하고자 한다.

동판 검사 시스템의 전체 구조를 도식화하면 아래의

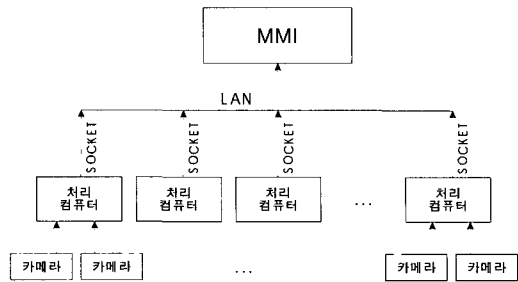


그림 1 동판 검사 시스템

그림 1과 같다. 시스템은 MMI(Man Machine Interface)와 처리 컴퓨터, 카메라 등으로 구성되어진다. 처리 컴퓨터는 카메라로부터 동판 표면 영상을 얻어 결함을 검출하고 형태를 분류하여 결합에 대한 정보를 MMI로 LAN을 이용해 전송한다. 카메라와 처리 컴퓨터는 각각 다중으로 구성되어질 수 있다. 각 처리 컴퓨터로부터 결합 정보가 전달된 MMI는 각 결합에 대한 정보를 조합하여 시각적으로 처리하고 보여준다.

2.1 다중 스레드 기법

스레드란 한 프로세스 내에서 독립적으로 수행되는 최소 단위인 독립 코드 단위이다. 이런 스레드를 다중으로 구성하여 다중 스레드 기법이 구현되며, 이 기법은 다중 CPU의 사용율을 최대화시켜 실시간 처리에 유리하다.

본 시스템의 다중 스레드 기법은 다중 태스킹(multi-tasking)과 다중 스레드(multi-thread)를 지원하는 윈도우 NT 커널을 기반으로 한 윈도우 2000에서 구현한다. 그리고 다중 CPU는 인텔 제온 프로세서를 사용한다. 위 그림 2는 처리 컴퓨터에서 전체적으로 처리되는 과정을 도식화한 것이다. 처리 컴퓨터에는 크게 영상 획득

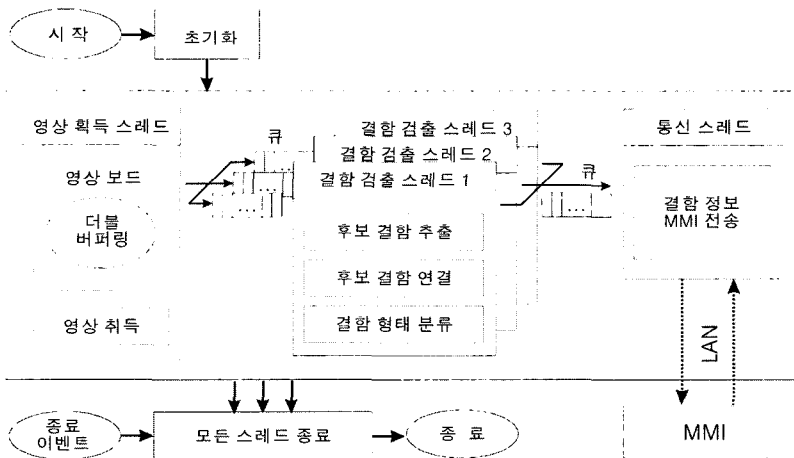


그림 2 전체 처리 과정

스레드와 결합 검출 스레드, 통신 스레드 등 다중 스레드로 구성되고, 결합 검출 스레드도 다중 스레드로 구성된다. 초기화에서는 영상 보드에 대한 초기화와 각 스레드를 동작하기 위한 초기화가 이루어진다.

영상 획득 스레드는 영상 보드로부터 영상을 실시간으로 입력받아 각 결합 검출 스레드로 넘겨준다. 획득 영상에 대한 결합 검출 스레드의 메모리 처리 방식은 각 스레드마다 영상 메모리를 가지는 메모리 분할 처리 방식으로 처리되어진다. 영상을 넘겨 받은 각각의 결합 검출 스레드는 결합을 검출, 분석하고 분류하여 MMI로 결합 정보를 보내기 위해 하나의 통신 스레드에게 큐로 넘겨준다. 통신 스레드로 넘겨 받은 결합 정보는 MMI로 LAN 통신을 이용해 전송하게 된다.

각 스레드와 스레드 간의 데이터 교환은 원형 큐(circular queue) 자료 구조를 이용한다. 영상 획득 스레드와 각 결합 검출 스레드, 각 결합 검출 스레드와 통신 스레드 간의 각각 데이터 교환이 이루어진다. 다중 스레드 기법에서 이런 공유 자원인 큐에 대해서 다중 접근을 피하기 위해서 상호 배제 조건을 만족시키는 동기화 객체를 사용한다. 즉, 여러 스레드에서 공유 자원을 접근할 때, 한 스레드만 공유 자원을 접근하고 나머지 스레드들은 그 공유 자원을 접근하지 못하도록 방지한다. 여러 동기화 객체 중 뮤텁스(mutex)를 사용하여, 여러 스레드 간에 공유 자원을 상호 배타적으로 접근함으로써 데이터의 일관성을 제공할 수 있다[6,7].

시스템이 운영되는 도중 종료 이벤트가 발생하면 모든 스레드를 종료시키고, 모든 자원을 해제하고 프로그램이 종료된다.

2.2 영상 획득 스레드

영상 획득 스레드는 영상 취득 보드로부터 영상을 획득하기 위한 스레드이다. 영상은 카메라로부터 입력 받아 영상 취득 보드를 거쳐 영상 획득 스레드에게 전달된다. 카메라와 영상 취득 보드, 영상 취득 보드와 영상 획득 스레드 간에 영상을 전달하는 과정에서 아래의 그림 3과 같이 더블 버퍼링(double buffering) 방법을 사용한다.

더블 버퍼링 방법은 영상 취득 보드에 두 개의 버퍼를 두어 카메라로부터 영상을 버퍼 1, 2를 교차하면서 영상을 취득한다. 카메라로부터 보드가 버퍼 1에 영상을 취득하는 동안 버퍼 2는 영상 획득 스레드로 출력하고, 버퍼 2에 취득하는 동안 버퍼 1은 영상 획득 스레드로 출력한다. 이런 방법으로 버퍼 1과 버퍼 2를 교차하면서 영상을 획득하게 되며 영상 입력과 처리를 중첩(overlap)하는 기법은 실시간 처리에 반드시 필요하다[8,9,10].

이 영상 획득 스레드에는 최상위 우선권(THREAD_PRIORITY_TIME_CRITICAL)을 주어 영상을 획득한다. 나머지 스레드는 최상위보다 한 단계 낮은 우선권을 부여한다. 이유는 영상을 취득하지 못하면 처리나 결합 검출이 제대로 이루어지지 않기 때문이다. 나머지 스레드(결합 검출 스레드, 통신 스레드 등)는 영상 획득 스레드의 CPU 점유 시간에서 남는 시간에 진행하게 된다. 영상을 획득하면 결합 검출 스레드에게 영상을 큐로

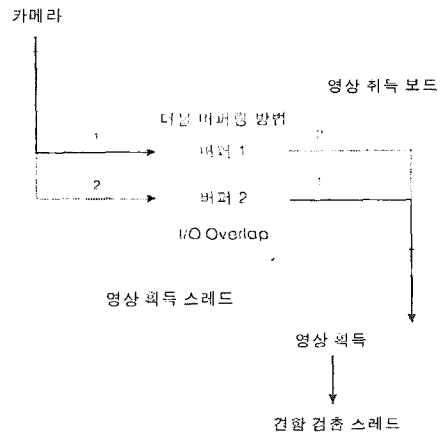


그림 3 영상 획득 스레드

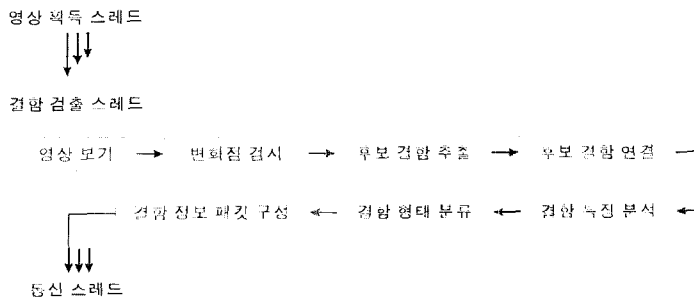


그림 4 결합 검출 스레드

넘겨준다.

2.3 결합 검출 스프레드

영상 획득 스프레드로부터 전달받은 영상은 화면에 보여주고 변화점을 검사하여 라인 별로 후보 결합을 추출한다. 변화점에 대한 자세한 것은 3장에서 알아본다. 추출된 후보 결합들은 상호 거리를 계산하여 주어진 임계치보다 가까우면 결합한다. 최종 결합의 형태는 특징을 분석하여 결정한다.

분류된 결합은 화면에 표시한 다음 결합에 대한 정보를 패킷에 담아 통신 스프레드에게 큐로 넘겨준다.

결합 검출 스프레드는 위 그림 4와 같은 흐름으로 처리된다. 결합 검출 스프레드는 다중으로 구성할 수 있는 확장성이 있다. 결합을 검출하는 시간이나 처리량에 따라 다중으로 구성하여 병렬적으로 처리될 수 있다. 또한, 획득된 영상에 대해 또 다른 처리를 위해 결합 검출 스프레드와 같이 영상을 처리하기 위한 스프레드들을 다중으로 둘 수 있다. 다중으로 구성된 결합 검출 스프레드는 처리된 결과들을 패킷으로 구성하여 하나의 통신 스프레드에게 넘겨준다.

2.4 통신 스프레드

통신 스프레드는 LAN 통신 즉, TCP/IP를 통해 결합 정보 패킷을 MMI에게 전송하는 기능만 담당한다. MMI와 처리 컴퓨터 간에 통신 방식은 한 패킷마다 확인 작업을 하면서 전송하게 된다. 패킷에는 패킷 ID, 패킷의 총 길이, 결합 정보, 결합 영상, 체크섬 코드 등으로 구성되어 있다. 패킷 ID는 패킷과 패킷 간에 구분되어질 수 있는 ID이고, 결합 정보는 결합이 분류된 정보들이 속해 있으며, 체크섬 코드는 패킷의 데이터가 정확함을 판단한다. TCP/IP 통신에는 비동기 소켓(asynchronization socket)이 사용되었고, MFC 클래스 CAsyncSocket으로 구현하였다[10].

3. 결합 검출 및 분류

결합 검출은 획득된 영상의 라인별로 검사하여 후보 결합을 만든 후, 위치에 따라 연결하여 결합을 완성하게 된다. 획득된 영상을 라인별로 검사하기 위해서는 영상 취득 보드에서 두 가지 전처리 과정이 필요하다. 불균형한 조명에 대한 처리와 임계치의 설정이다. 불균형한 조명에 대한 처리는 영상을 라인별로 검사할 때, 하나의 임계치로만 검사할 수 없기 때문에 조명 불균형 전처리 과정이 필요하다. 임계치의 설정은 조명 불균형 처리가 된 상태에서 하나의 임계치로 검사하여 라인별로 변화점을 찾아주는 것이다. 변화점이란 주어진 임계치에 해당하는 점으로써, 영상 취득 보드에서 영상 획득 스프레드에게 영상을 전달할 때 함께 전달되어 전체 처리를 빠르게 할 수 있다.



그림 5 결합의 형태

본 연구에서는 각 결합의 특징을 살려 형태를 분류하고자 한다. 또한 다중 스프레드 기법과 다중 CPU의 실시간 처리뿐만 아니라, 결합 형태 분류에서도 실시간 처리를 고려하여 결합 형태 분류는 결합의 모양이나 명암차를 이용하여 비교적 간단한 연산만으로 구성한다.

표면의 결합은 명암에 따라 명결합, 암결합 등 크게 2가지로 나눌 수 있다. 명결합은 표면의 명암보다 높은 명암을 가지는 결합이고, 암결합은 표면의 명암보다 낮은 결합이다. 본 시스템에서는 위 그림 5와 같이 모두 암결합에 대해서만 검출하게 된다.

동판 표면의 결합 형태는 스크래치, 놀림, 얼룩, 뜯김으로 분류할 수 있다. 분류하게 될 결합 형태에 대해 각각 특징을 살펴보면, 그림 5에서와 같이 공정 자체 문제로 스크래치, 뜯김이 발생하여 형태가 긴 편이고, 생산 환경에서 발생하는 오물, 잡물 유입으로 얼룩, 놀림의 결합이 발생하여 형태가 둥근 편이다. 둥근 정도로 결합을 크게 긴 형태 결합, 둥근 형태 결합으로 구분할 수 있으며, 고유치 비율(eigen-ratio)로써 구한다.

3.1 조명 불균형 처리

조명이 불균형한 상태에서 영상을 취득하면 라인별 화소 레벨값이 불균형하기 때문에, 하나의 임계치로만 결합을 검출할 수 없다. 이로 인해 아래의 그림 6과 같이 조명 불균형에 대한 처리가 이루어진다. 우선 조명이 불균형한 상태에서 여러 프레임의 영상을 취득하여 y축으로 평균을 내어 기준 라인을 만든 후, 기준 라인으로부터 교정 라인을 구하여 불균형한 표면 영상에 교정 라인을 곱하면 하나의 임계치로도 결합을 검출할 수 있다[9]. 이때 조명 불균형 처리를 위해서 전용 하드웨어는 사용하지 않고 교정 라인을 표면 영상에 곱하는 부분만 영상 취득 보드에서 처리한다.

3.2 고유치 비율

이진 결합 영상에 대한 좌표값의 평균 벡터(mean vector)로부터 공분산 행렬(covariance matrix)을 구해, 아래의 수식 (1)로 고유치(λ)를 구한다[11,12,13].

$$Rx = \lambda x \quad (1)$$

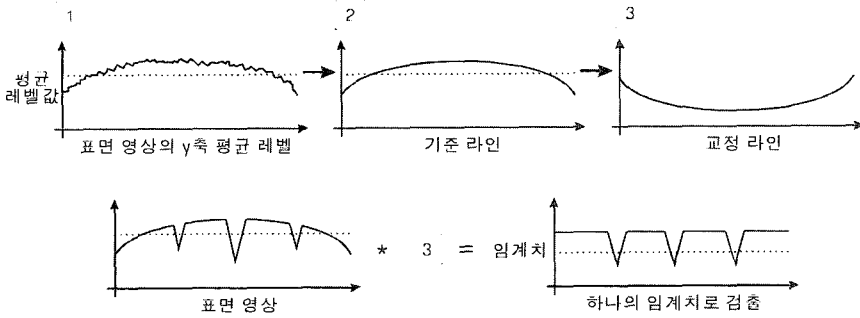


그림 6 조명 불균형 처리

R 는 공분산 행렬, s 는 고유 벡터, 그리고 λ 는 고유치이다. 공분산 행렬에는 2개의 고유치(λ_{min} , λ_{max})가 존재하는데, λ_{min} 과 λ_{max} 로부터 고유치 비율(r)을 구한다 [16]. 이 고유치 비율(r)로서 결함의 등근 정도를 나타낼 수 있어, 임계치에 의해 크게 스크래치와 뜯김, 눌림과 얼룩으로 분류될 수 있다.

$$r = \frac{\sqrt{\lambda_{min}}}{\sqrt{\lambda_{max}}} \quad (2)$$

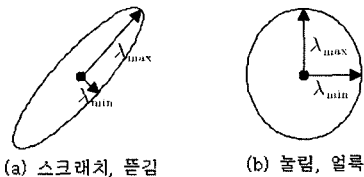


그림 7 결함의 두 형태

3.3 스크래치와 뜯김의 분류

스크래치와 뜯김은 우선 고유치 비율에 의해 동일 형태로 분류되었다. 스크래치는 동판 제조 공정에 의해 연속적으로 긁혀서 결함이 길이가 길고 너비가 얇은 편이다. 뜯김은 연속적으로 뜯겨서 스크래치에 비해 결함의 너비가 굵은 편이다. 이런 특성을 고려하여 고유치 비율과 결함의 너비로 특징 벡터를 구성하며 확률밀도함수를 이용해 확률로 분류한다. 스크래치와 뜯김 샘플들로부터 평균 벡터(μ)와 공분산 행렬(R)를 구해 아래 수식(3)으로 각 클래스 별 확률밀도함수를 구한다. 사용되는 확률밀도함수는 정규 분포이다[14,15].

$$P(y_n) = \frac{1}{(2\pi)^{D/2}} |R|^{-1/2} \exp\left\{-\frac{1}{2}(y_n - \mu)^T R^{-1}(y_n - \mu)\right\} \quad (3)$$

3.4 눌림과 얼룩의 분류

눌림과 얼룩은 고유치 비율값에 의해 우선 동일 형태, 즉 등근 형태로 분류되었다. 눌림은 어떤 물체에 의해

동판을 눌렀기 때문에 그림 5처럼 결합 영상의 명암이 진한 편이고, 얼룩은 오물이 되어 얼룩지게 만들어 눌림보다는 명암이 진하지 않다. 이러한 명암차를 이용하여 눌림과 얼룩을 구분한다. 결합 크기나 밝기에 관계없이 분류하기 위해 결합 영상의 히스토그램에서 전체 중 가장 낮은 레벨로부터 40%영역의 평균(A_{low})과 최외각선의 평균(A_{out})의 비교를 통해 눌림과 얼룩이 분류된다. 임계값 A_{th} 보다 크거나 같으면 얼룩, 작다면 눌림으로 분류된다.

$$A_{out} - A_{low} > A_{th} \quad (4)$$

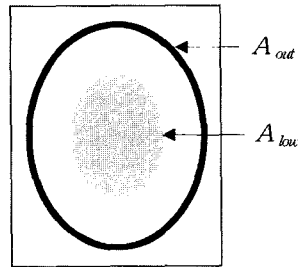


그림 8 눌림과 얼룩

4. 실험 및 결과

4.1 시스템 구성

본 시스템은 동판 표면의 영상을 획득하여 결함을 검출하기 위해 각종 장치와 컴퓨터로 이루어져 있다. 카메라는 라인 스캔 카메라(line scan camera)로 Basler사의 L203-4K를 사용한다. 이 카메라는 4096 pixel linear CCD로써, 라인율(line rate)은 9.50kHz를 갖는다. 카메라로부터 라인 영상을 취득하기 위해 I2S사의 Horizon 4LC 영상 취득 보드를 사용한다. 조명 장치는 라인 스캔 속도보다 빠른 고주파 교류 조명 장치를 사용하였고, 암결함을 검출하기 위해 설치 타입으로는 브라이트 필드 조명(bright-field illumination)을 사용하였

다. 컴퓨터는 인텔 제온 2.6G Dual CPU와 512MB Dual DDR RAM으로 구성되어 있다.

동판 검사 시스템에 대한 프로그램 구현은 영상 취득 보드를 제어하는 상용 라이브러리와 개발된 알고리즘을 혼합하였다. 표면 입계치의 설정으로 변화점을 검사하는 부분은 상용 라이브러리를 이용하였다. 또한 3.1 절에서 알아본 조명 불균형 처리에서 교정 라인을 표면 영상과 곱하는 부분도 상용 라이브러리를 이용하였다. 개발된 알고리즘으로 구현된 것은 전체적인 다중 스레드 기법 처리, 변화점의 위치에 따라 결함 검출, 결함의 형태 분류, 교정 라인을 구하는 부분 등이다.

아래의 그림 9는 본 시스템을 테스트하기 위한 실험 장비이다. 동판 검사 시스템은 조명 반사광에 의해 라인 스캔 카메라로 동판 표면을 한 라인씩 찍어 영상 취득 보드로 넘겨준다. 보드에서 설정된 라인 수만큼 라인 영상을 모아 한 프레임의 영상을 만들어 프로그램으로 넘겨준다. 프로그램은 넘겨준 영상에 대해 결함을 검출하고 형태를 분류한다.



그림 9 동판 검사 시스템의 실험 장비

다중 스레드 기법과 다중 CPU를 기반으로 구현된 실시간 동판 검사 시스템의 처리 성능은 카메라 당 4096 화소를 갖는 800 라인의 영상이 초당 약 11~12 프레임까지 입력되어 약 37.5 Mbyte/sec 처리한다. 2 개의 카메라를 장착했을 경우, 약 75 Mbyte/sec의 영상 데이터를 실시간으로 처리하고, 약 400개 이상의 결함을 실시간으로 검사 및 분류한다. 결함에 대한 화소 해상도(pixel resolution)는 0.25mm×5.12mm/pixel이다. 최소 불량 크기에 대해 외국 선진국에서는 1mm²를 요구하고, 국내에서는 3mm²를 요구하고 있으며, 본 시스템은 1.28mm²를 제공한다.

4.2 실험

동판 검사 시스템에 대한 실험은 크게 다중 스레드에 대한 성능 실험과 결함 검출 실험으로 나눌 수 있다. 다중 스레드에 대한 성능 실험은 다중 스레드 기법으로 단일 CPU와 다중 CPU 간의 성능을 측정하고, 결함 검출 실험은 반복 재현성 실험과 분류 정확성 실험으로 또 나뉘어 질 수 있다. 반복 재현성 실험은 동일한 동판을 카메라로 찍어 여러 영상 파일로 저장한 후 결함 검출수로 알아보았고, 분류 정확성 실험은 검출된 결함의 분류 정확성을 측정한다.

특히, 결함의 분류 정확성 실험에 대해서는 아래와 같이 진행되었다. 분류한 결함의 형태는 스크래치, 뜯김, 얼룩, 눌림 총 4가지가 있다. 우선 고유치 비율을 구하고 이 값으로 스크래치와 뜯김, 얼룩과 눌림이 분류된다. 실험에 사용된 고유치 비율의 임계치 γ 는 0.14이다. 이 값보다 작으면 스크래치와 뜯김으로, 크면 얼룩과 눌림으로 분류된다. 다음 얼룩과 눌림을 구분하기 위한 명암차 임계치 A_{th} 값은 25으로 두었다. 임계치 γ 과 A_{th} 는 경험적인 실험으로 설정되었다. 다음 스크래치와 뜯김의 분류를 위해 너비와 고유치 비율을 이용하여 각각 특징 샘플로부터 스크래치 확률밀도함수와 뜯김 확률밀도함수를 구한 후, 이 2개 확률밀도함수로부터 확률을 구하여 큰 쪽으로 결정한다.

각 클래스별 샘플들을 모아 확률밀도함수를 구해, 각 클래스별 분포도를 보면 아래의 그림 10과 같다. 분포도를 살펴보면 뾰족한 분포와 완만한 분포가 있으며, 뾰족한 분포가 스크래치 확률밀도함수를 나타내고, 완만한 분포가 뜯김의 확률밀도함수를 나타낸다.

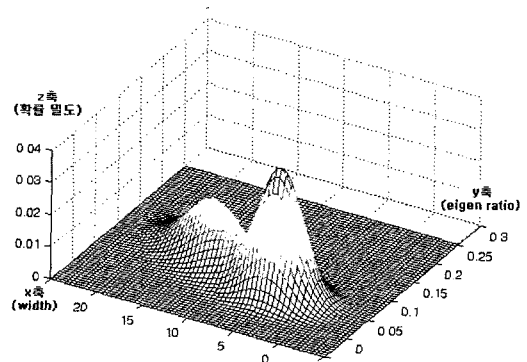


그림 10 스크래치, 뜯김의 확률밀도함수

4.3 결과 및 분석

다중 스레드 기법에 대해 단일 CPU와 다중 CPU 간의 성능 실험은 19,200 라인을 갖는 실험 영상 5개로 진행하였다. 다중 CPU는 CPU를 2개 사용하였다. 아래

의 표 1은 각 실험 영상을 1분 동안, 프레임수를 측정한 결과이다. 실험 결과에서도 알 수 있듯이, 프레임 수에 대해 다중 CPU 성능이 단일 CPU 성능보다 약 1.51배 높았다.

표 1 단일 CPU와 다중(2개) CPU 간의 성능 실험 결과

영상	단일 CPU	다중(2개) CPU
	처리프레임수/분	처리프레임수/분
1	1128	2126
2	1594	2076
3	1073	2085
4	1580	2075
5	1569	2105
평균	1388.8	2093.4

결함 검출에 대한 반복 재현성 실험은 동일한 크기와 길이를 갖는 하나의 동판을 여러 영상 파일로 만들어 결함의 검출수를 알아보았다. 그리고 실험을 좀 더 극대화하기 위해 결함이 아주 많은 동판으로 실험이 진행되었다. 아래의 표 2는 실험 결과를 나타내고 있으며, 각 실험 영상간의 결함수가 거의 비슷하게 검출되었으므로 본 시스템의 결함 검출 능력은 뛰어나다는 것을 알 수 있다.

표 2 결함 검출의 반복 재현성 실험 결과

영상	결함 검출 수
1	1,380
2	1,401
3	1,371
4	1,380
5	1,397

제시된 결함 분류 방법은 18,300 라인을 갖는 실험 영상을 통해 실험이 진행되었다. 이 실험 영상에는 140여개의 결함이 포함되어져 있다. 다음 표 3의 실험 결과처럼 총 141개의 결함 중 126개가 정확하게 분류되어 성공률은 약 89.4%를 얻었다.

표 3 결함 형태 분류 실험 결과

결함 형태	결함수	정확 분류	오분류	성공률
스크래치	9 개	6 개	3 개	66.7 %
뜯김	19 개	17 개	2 개	89.5 %
눌림	8 개	8 개	0 개	100.0 %
얼룩	105 개	95 개	10 개	90.5 %
총	141 개	126 개	15 개	89.4 %

위 실험에서 결함은 비교적 정확하게 분류되나, 특정 부분에서 오분류가 많았다. 특히 스크래치와 뜯김의 분

류가 매우 어렵다. 사람 눈으로는 분류할 수 있지만 카메라로 찍은 영상은 뚜렷하지 않으면 거의 비슷하다. 이런 요인 때문에 스크래치와 뜯김의 분류가 적은 결함수에 비해 성공률이 낮은 편이다. 다음에 판명 오류 결함의 경우를 기술하였다.

1. 결함이 두 개 이상이 서로 붙은 경우, 결함이 하나로 인식됨과 동시에 결함 크기가 커져 분류의 정확성을 낮춘다. 예를 들어, 아래의 그림 11과 같이 스크래치 결함 주위에 얼룩, 눌림 등과 같은 결함이 붙어 있으면, 두 결함이 하나로 인식되어 분류가 잘못된 경우이다.
2. 뜯김인데 너비가 작아 스크래치로 분류된 경우이다.
3. 얼룩과 같은 경우 명암차가 주어진 임계치 A_{th} 보다 커져 눌림으로 오분류된 경우이다.

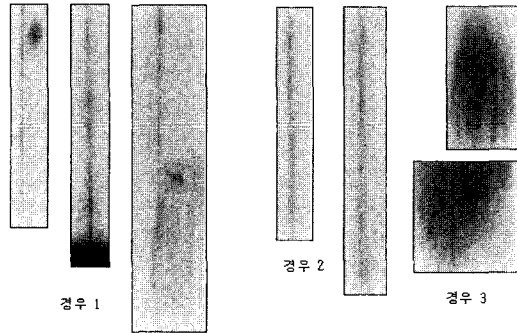


그림 11 판명 오류 결함 샘플

5. 결론

본 연구를 통해 동판 표면의 결함을 실시간으로 검사하는 시스템에 대해 제시하였다. 많은 산업 응용 시스템에서 실시간 처리의 요구에 따라 다중 스레드 기법과 다중 CPU를 적용하여 성공적인 실시간 처리 동판 검사 시스템이 구현되었다. 구현된 시스템은 결함을 초당 400개 이상 검출하고 분류되어 실시간 처리에 만족되었다.

또한 결함 분류에 있어서도 비교적 간단한 연산만으로 구성하여 실시간 처리에 대응할 수 있도록 결함 분류 방법을 제시하였다. 스크래치와 뜯김 결함은 샘플로부터 구해진 확률밀도함수에 의해 분류되었고, 눌림과 얼룩 결함은 명암이 진한 정도로 분류되었다. 분류 정확도는 실제 산업 현장에서 85% 이상을 요구하고 있으며, 제시된 결함 분류 방법으로 실험한 결과, 실험 결과에서도 알 수 있듯이 높은 수치의 89.5% 분류 정확도를 얻을 수 있었다.

실험한 결과에서 오분류된 결함들을 살펴봤듯이 여러 경우가 존재하였다. 향후 이런 문제점들도 실시간 처리

를 만족시키는 범위 내에서 연구가 진행되어야 할 것이다. 또한 조명과 대상 물체 즉, 표면 사이의 각에 따라 결함을 검출할 수도 있고 검출 못할 수도 있기 때문에 이 부분에 대해서도 연구가 진행되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] 오춘석, 이현민, "타포린 원단의 합침 자동 검출 시스템 개발", 정보처리학회 논문지, 제7권, 제6호, pp.1973-1978, 2000.
- [2] Soliton Company, "<http://www.soliton.co.jp>"
- [3] Nagase Company, "<http://www.nagase-direct.co.jp/scantec/>"
- [4] Judit Martinez, Eva Costa, Paco Herreros, Xavi Sanchez, Ranmon Baldrich, "A modular and scalable architecture for PC-based real-time vision systems," Real-Time Imaging Vol. 9 Issue 2, pp.99-112, 2003.
- [5] Parsytec Company, "<http://www.parsytec.de>"
- [6] Jeffrey Richter, "Programming Applications for Windows," Fourth Edition, Microsoft Press, 1999.
- [7] Microsoft Corporation, "Real-Time Systems and Microsoft Windows NT," <http://msdn.microsoft.com>, 1995.
- [8] I2S, "<http://www.i2s-linescan.com>," 2001.
- [9] I2S, "Horizon 4LC Software Manual," 2001.
- [10] Anthony Jones, Jim Ohlund, "Network Programming for Microsoft Windows," Second Edition, Microsoft Press, 2002.
- [11] R.C. Gonzalez, R.E.Woods, "Digital Image Processing," Second Edition, Prentice Hall, 2002.
- [12] 성용현, "응용 다변량 분석", 탐진출판사, 1998.
- [13] 다변량 자료 분석, "<http://wolfpack.hannam.ac.kr/lecture/fall02/MDA>".
- [14] Charles A. Bouman, "CLUSTER: An Unsupervised Algorithm for Modeling Gaussian Mixtures," manual, <http://dynamo.ecn.purdue.edu/~bouman>, Purdue University, 2001.
- [15] Richard O.Duda, Peter E.Hart and David G.Stork, "Pattern Classification," Second Edition, Wiley Interscience, 2001.
- [16] J.C. Noordam, G.W. Otten, A.J.M. Timmermans and B.H. van Zwol, "High speed potato grading and quality inspection based on a color vision system," in Machine Vision Applications in Industrial Inspection VIII, Kenneth W. Tobin Jr., Editor, Proceedings of SPIE Vol. 3966, pp.206-220, 2000.
- [17] Ajay Kumar, Grantham Pang, "Defect detection in textured materials using Gabor filters," IEEE Transactions on Industry Applications Vol. 38 Issue 2, pp.425-440, 2002.



이 재 광

2003년 2월 건양대학교 컴퓨터공학과 학사. 2003년 3월~현재 건양대학교 대학원 정보전자공학과 석사과정. 관심분야는 영상처리, 컴퓨터비전, 패턴인식



최 동 혁

1986년 2월 연세대학교 전자공학과 학사
1988년 2월 연세대학교 대학원 전자공학과 석사. 1993년 2월 연세대학교 대학원 전자공학과 박사. 1993년 3월~현재 건양대학교 컴퓨터공학과 부교수. 관심분야는 영상처리, 컴퓨터비전, 패턴인식