

실시간 자동 검사를 위한 라인 스캔 컴퓨터 비전 시스템의 연구*

장동식** · 김용덕***

Constructing a Automatic Real-time Line-Scan Inspection System

Dong-Sik Jang, Yong-Deok Kim

(Abstract)

The purpose of this research is to construct real-time image acquisition system for a line-scan inspection system as a computer vision system. To construct the line-scan inspection system, many problems arise. However, problems of image acquisitions using linear CCD are practically studied in this paper. These problems are concerned to proper lighting systems, relations with handling systems, camera systems, and impacts due to the noise of environment. These problems are examined separately, and proper configurations for each case are suggested to construct the line-scan image acquisition system.

1. 서론

산업 현장에서 컴퓨터 비전(Computer Vision)이 중요하게 대두된 것은 최근의 일이다. 일반적으로 영상 획득은 CCD 소자의 배열 방식에 따라서 에어리어 스캔 시스템(Area Scan System)과 라인 스캔 시스템(Line Scan System)의 두 가지로 나누어진다[8]. 에어리어 스캔 시스템은 한 번의 노출로 2차원 영상을 얻고 사용이 간단하다는 장점이 있으나 고 해상도를 요구하는 흐름 공정에 에어리어 스캔 시스템을 사용하는 것은 방대한 데이터와, 영상 획득 시의 흔들림(Blurring), 정밀도의 한계에 의한 검사 영역의 제한, 흐름의 정지 등의 문제점을 안고 있다[10]. 따라서 흐름 공정을 유지하고 요구되는 정밀도와 속도를 만족시킬 수

있는 라인 스캔 시스템의 등장여 불가피하게 되었다.

라인 스캔 시스템은 라인 카메라를 영상 획득 장치로 사용하는 컴퓨터 비전 시스템이며 라인 카메라는 CCD 소자가 선형으로 밀착 배열되어 한 번에 1차원 데이터를 얻을 수 있다. 라인 카메라를 사용하는 비전 시스템은 고정밀도, 저 잡음, 빠른 영상 획득 속도, 무한대 길이의 가로 해상도 구현 가능, 조도의 균일성, 유지·용이 등의 장점을 가지고 있어 고 해상도를 요구하는 흐름 공정에 적합한 시스템이다[2].

이런 라인 스캔 시스템을 구축할 때 고정밀도와 빠른 영상 획득 속도로 인해 빛에 대한 민감도 저하, 카메라의 획득율에 따른 조명원의 주파수, 이송장치의 진동과 속도 등, 시스템을 구성하는데 고려해야 할 많은 문제들이 발생하며 구성이 용이하지 않다. 현재는

* 본 연구는 1994년도 한국학술진흥재단의 연구비 지원에 의하여 수행되었음.

** 고려대학교 산업공학과

*** LG산전 교통관계연구실 도로교통팀

영상 입력부에서 어떤 규칙과 기준에 의해 획득부의 구성 요소를 선택하여 획득 시스템을 구성하는 것이 아니라 오랜 실무 경험을 가진 전문가의 조언에 의해 장비를 구입·설치한 후, 실험을 해 보고 더 필요한 사항을 개선하는 방식으로 시스템을 구축하고 있다. 따라서, 불필요한 비용의 낭비 요소가 생기게 되며, 구성 요소들이 체계적이고 유기적으로 결합되어 있지 못하고, 전문가의 도움이 없이는 시스템을 구축하는 방법에 대한 정보를 얻기가 힘들게 된다.

이 연구에서는 사용자의 요구를 검사 대상물, 검사 대상 특성, 최소 요구 해상도, 검사폭, 검사 속도의 다섯 가지 기준으로 구분하여, 각 구성 요소의 파라미터를 선택할 때 이 기준이 어떻게 적용되는지에 관한 일반적인 정보를 제공하며, 이를 수식화 하여 효과적이고 적합한 모형을 제시한다.

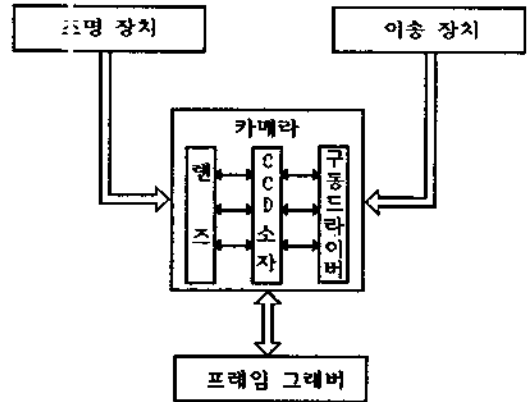
2. 라인 스캔 시스템

라인 스캔 시스템은 라인 스캔 카메라를 영상 획득 장치로 사용하는 시스템을 말한다. 라인 스캔 카메라는 CCD등의 감광성(Photosensitive)의 소자가 선형으로 밀착 배열되어 한 번에 1차원 데이터를 얻을 수 있다[1][9]. 라인 스캔 시스템은 크게 네 부분으로 구성되어 있으며, 첫째 라인 CCD 센서를 이용하여 획득 목표인 1차원 영상을 처리 가능한 디지털 정보로 얻어 들이는 영상 획득부, 둘째 획득된 영상에 대해 원하는 작업을 수행하고 사용자와 인터페이스 하여 소프트웨어를 운용하고 전 시스템을 조정하는 조정 컴퓨터를 포함하는 영상 처리부, 셋째 방대한 양의 영상 정보를 저장하는 영상 저장부, 그리고 마지막으로 사용자에게 결과를 보여주거나 처리된 결과를 외부에 전해 주는 결과 출력부로 되어 있다[6].

연속 생산 공정에 있어서 물류의 흐름은 생산성 향상의 매우 중요한 요소로, 원활하고 연속적인 물류의 흐름은 모든 자동화 생산 시스템의 목표이자 연구 대상이다. 현실적으로 대부분의 연속 생산 공정에 있어서 생산품의 가공 및 이송공정은 하드웨어의 자동화에 따라 물류의 흐름을 유지시켜 주고 있으나, 고속의 흐름이 있는 검사 공정에 에어리어 스캔 시스템을



(그림 2.1) 라인 스캔 시스템 구성도



(그림 2.2) 영상 획득부 구성도

사용하게 될 경우 정확한 영상 획득을 위해서는 물류의 흐름을 중단시켜야 하는 단점이 있다. 라인 스캔 카메라는 고 해상도와 고속의 획득율(acquisition rate)을 제공하기 때문에 물류의 흐름이 있는 산업 응용 분야에 적합하다.

라인 스캔 카메라는 고속의 획득율을 가지고 있으므로, 짧은 시간에 방대한 양의 데이터가 들어온다. 이런 방대한 데이터를 실시간에 처리하기 위해서는 획득 속도보다 빠른 처리 속도를 가진 영상 처리기(하드웨어)와 처리 알고리즘이 필요하게 된다. 보통 사용되고 있는 처리기는 파이프 라인 구조를 이용하거나, 버퍼 처리를 통해 빠른 처리 속도를 유지한다.

이외에 라인 스캔 카메라의 장점은 다음과 같다[2].

● 고 정밀도 (high resolution)

일반적으로 에어리어 카메라의 수평 해상도는 128에서 768 pixel이다. 수직 해상도도 보통 500보다 작다. 하지만 라인 카메라인 경우 256에서 6000 pixel까지

지 있어서 에어리어 카메라의 10배의 정밀도를 가진다.

▶ 빠른 영상 획득 속도(higher speed)

라인 카메라는 보통 획득율의 조절이 가능하여 4~40MHz의 data rate로 동작하므로, 컨베이어 위에서 빠르게 흘러가는 물체 등과 같이 움직임을 기본적으로 내재하고 있는 물체에 대한 영상 처리가 용이하다.

▶ 무한대 길이의 가로 해상도(infinitely long picture)

CCD 소자의 배열 축에 대해 수직으로 지나가는 물체를 연속적으로 스캔하기 때문에 무한대 길이의 가로 해상도를 구현할 수 있으며, 연속적으로 움직이고 있는 물체의 결함을 추출해 내는 등의 기능에 적합하다.

▶ 조명장치의 균일성 유지용이(Easier to evenly illuminate)

라인 카메라는 대상 물체를 한 라인만 보기 때문에, 좁은 영역만 균일하게 비추는 장치를 사용할 수 있다. 이는 2차원 영역 전체를 균일하게 비추어야 하는 에어리어 스캔 시스템보다 조명의 균일성을 유지하는 것이 용이하기 때문이다.

3. 영상 획득 시스템 구축

3.1 시스템 구축 개요

시스템이란 용어는 특정한 어떤 기능을 수행하기 위하여 여러 가지 구성 요소들이 유기적으로 결합되어 있는 집합체를 말한다. 라인 스캔 시스템은 카메라, 컴퓨터, 모니터 등의 요소들이 사용자가 요구하는 검사 수행을 목적으로 유기적으로 결합된 것이다.

서브 시스템은 시스템의 일부로, 그 자신 독립한 시스템으로서의 기능을 가지고 있는 것을 말한다. 영상 획득부는 라인 스캔 시스템의 일부로 조명장치, 이송장치, 카메라, 프레임 그래버 등의 요소들이 사용자가 요구하는 검사를 수행하기 위한 올바른 영상획득을 목적으로 결합된 것이므로 영상 획득 서브 시스템이라고 할 수 있으며, 편의상 본 논문에서는 영상 획득 시스템이라고 한다.

영상 획득 시스템은 사용자의 요구에 맞게 구축되어야 하므로, 사용자의 요구를 정형화시키는 작업이 필요하다. 본 연구에서는 사용자의 요구를 검사 대상물, 검사 대상 특성, 최소 요구 해상도, 검사폭, 검사 속도 등 다섯 가지로 나누었다. 이 중에서 검사 대상물과 검사 대상 특성은 조명의 방식에만 관련되므로 조명의 방식에서 설명한다. 검사폭은 카메라에 잡히게 되는 검사 대상 물체의 폭을 말한다. 최소 요구 해상도는 결점의 탐지를 위해서 최소한 어느 정도 이상의 해상도로 검사를 해야 하는가를 나타내며, 검사 속도는 초당 어느 정도의 길이로 검사를 해야 하는가를 말한다.

각 구성 요소 선택을 위해 결정되어야 하는 사항은 다음의 <표 1>과 같다. 다음 구성 요소 중 프레임 그래버는 제조 회사에 따라 다양한 구조와 기능을 가지고 있으므로 일반화시키기 어려우므로 본 논문에서는 프레임 그래버에 대한 연구는 하지 않기로 한다.

<표 1> 구성요소의 결정 사항

구성 요소	결정 사항	
조명 장치	광량, 주파수, 조명의 방식	
이송 장치	진동, 속도 변화	
카메라	CCD 소자	화소수, 획득율
	렌즈	배율, 초점거리, 피사계 심도, 마운트
	위치	피검물까지의 거리
프레임 그래버	처리 속도	

3.2 구성 요소의 결정

3.2.1 조명의 방식 결정

조명의 방식을 결정하기 위해서 고려해야 할 요소는 검사 대상물과 검사 대상 특성의 두 가지이다. 여기서는 일반적으로 사용할 수 있는 조명의 방식(Back Lighting과 Front Lighting)만 고려하며, Strobe Lighting과 Structured Lighting은 특수한 경우에만 사용되므로 따로 설명한다.

일반적으로 검사 대상물은 특성에 따라 여러 기준에 의해 나눌 수 있지만 조명의 방식과 관련된 기준은 투과성과 반사성이다. 대상물은 투과성과 반사성에

따라 다음의 <표 2>처럼 분류된다. 빛이 진행하다가 물체를 만나면 어느 정도 반사하고 나머지를 흡수한다. 그리고 흡수된 빛의 일부가 투과하기 때문에 투과성과 반사성 사이에는 어떤 관계가 존재하지만, 여기서 구체적으로 그 관계를 고려하지 않고 대강의 분류만으로 조명 방식을 결정한다.

<표 2> 검사 대상물의 구분

분 류	내 용
Class A	빛을 잘 통과시키는 물체
Class B	빛을 통과시키지 않는 물체
Class C	표면에서 빛을 잘 반사시키는 물체
Class D	표면에서 빛을 반사시키지 않는 물체

또한 검사 대상 특성은 대상물에서의 존재 위치에 따라 다음의 <표 3>처럼 세 가지로 분류한다. 특히, 이러한 특성들의 좌표계 위치, 개수, 크기, 모양, 방향들이 실제 검사의 대상이 되며 비전 시스템을 통해서 알고자 하는 것들이다.

<표 3> 검사 대상 특성

분 류	내 용	예
Class a	물체의 외형적 특성	외형, 치수, 관통하는 Hole 등
Class b	물체의 표면 특성	질감, 굽힘, 산화, 부식, 오염, 패임 등
Class c	물체의 내부 특성	기포, 불순물 등

이와 같이 검사 대상물과 대상 특성이 주어질 때 사용 가능한 조명의 방식으로는 다음에 설명하는 <표 4>에서와 같이 검사 특성이 주어질 때 대상물의 특성에 따라 조명 방식이 결정된다.

만약 검사 대상물은 A나 B(C나 D)의 둘 중의 하나이고, 검사 특성은 a,b,c 의 세 개중 하나일 때:

- ㉠ 비투과성 물체의 외형적 특징은 B.L.을 사용한다.
- ㉡ 표면 반사 물체의 외형적 특징은 F.L.을 사용한다. 대상물이 B와 C에 동시에 속할 때에는 B.L. 나 F.L. 둘 다 사용할 수 있다.
- ㉢ 투과성 물체의 표면 특성은 B.L.을 사용한다.
- ㉣ 표면 반사 물체의 표면 특징은 F.L.을 사용한다.

<표 4> 조명의 방식 결정

B.L. : Back Lighting
F.L. : Front Lighting

검사 특징 \ 대상물	투과성		반사성	
	A	B	C	D
a(오 투특성)		㉡B.L.	㉢F.L.	
b(표면특성)	㉢B.L.		㉣F.L.	
c(내부특성)	㉢B.L.			

대상물이 A와 C에 동시에 속 할 때에는 B.L.이 나 F.L. 둘 다 사용할 수 있다.

㉢ 투과성 물체의 내부 특성은 B.L.을 사용한다. 검사 대상물이 불투명할 때에는 빛이 검사 특성이 있는 내부까지 도달하지 못하므로 특징 추출이 불가능하며, 투명할 경우에는 빛이 검사 특성을 지나와야 하므로 B.L.을 사용한다.

물체에 대해 종류가 다른 두 가지의 검사 특성을 동시에 수행할 경우 각각의 검사를 위한 전용 조명 장치를 위에서 말한 방식으로 각각 설치할 수도 있고, 하나의 조명을 적절히 사용하여 두 가지 검사 특성을

동시에 검사할 수도 있다. 예를 들어 유리와 같이 투명하고 표면 반사가 뛰어난 경우에는 B.L. 방식으로 하나의 조명 장치를 설치하여 표면의 특징과 유리 내부에 있는 특징을 동시에 검사할 수 있다.

Strobe Lighting과 Structured Lighting의 사용은 B.L.과 F.L.은 일반적으로 많이 사용되지만, Strobe Lighting과 Structured Lighting은 사용시 많은 연구를 거쳐야 한다. Strobe Lighting은 조명을 주는 방식의 하나이며 카메라와의 위치를 고려하면 B.L.이나 F.L.에 속하게 된다. 조명 장치에서 적절한 패턴을 주어서 이를 피검물에 투영(projection)시키는 Structred Lighting을 사용하면 영상 처리부에서 많은 노력을 줄일 수 있다. Structured Lighting은 검사 대상물의 모양과 검

사 대상 특징에 따라 달라지므로 적용에 세심한 고려가 필요하다. 따라서 검사 대상물과 대상 특성을 잘 관찰한 후 가능한 구조를 생각해 보아야 하며 이를 일 반화시키는 것은 불가능하다.

3.2.2 이송 장치의 결정

라인 카메라를 가지고 폭 측정과 같은 1 차원 계속 작업만 하는 경우에는 이송 장치가 필요하지 않다. 그러나 라인 카메라를 2차원 영상 처리에 사용하려면 각 라인별로 들어온 영상 신호를 모아서 하나의 프레임으로 재구성하여야 한다. 이런 역할을 하는 이송 장치를 설계할 때 고려해야 하는 요소는 진동과 속도이다.

대부분의 이송 장치는 모터를 사용하며 모터의 진동에 의해 피검물도 진동하게 된다. 사용자가 요구하는 해상도가 높을수록 즉, 한 화소가 차지하는 면적이 적을수록 진동에 민감하다. 그리고 가벼운 물체일수록 관성이 적어서 진동에 더 민감하다. 진동은 공간에서 수직인 3개의 벡터의 합으로 이루어진다. 이 3개의 벡터는 피검물의 폭 방향 벡터, 높이 방향 벡터, 그리고 상하 방향의 벡터이다.

폭 방향의 진동은 라인 단위의 처리를 할 때에는 문제가 되지 않지만, 프레임 단위로 처리를 할 때에는 문제가 될 수 있다. 폭 방향 진동에 의해 피검물이 해상도보다 많이 움직이게 되면 들쭉날쭉한 형태의 왜곡된 영상이 된다. 이송 장치에 피검물이 옆 방향으로 움직이지 않도록 양쪽으로 벽(가이드)을 설치하여서 진동을 어느 정도 제거할 수 있다.

상하 진동은 피검물이 아주 가볍거나 진동이 아주 클 경우 일어나는 진동으로 피검물에 임의로 무게를 더해 주거나 이송 장치에 피검물을 밀착시키는 장치를 설치하면 상하 진동을 제거할 수 있다. 또한 높이 방향의 진동은 피검물의 이동 속도에 대해지므로 속도의 변화와 밀접한 관계가 있다. 검사 속도는 초당 검사 높이로 다음 식에 의해 계산된다.

$$\text{검사 속도} = \frac{\text{거리}}{\text{시간}} = \frac{\text{해상도}}{1/\text{초당 검사 라인수}} \quad \langle \text{식 1} \rangle$$

라인 카메라는 정밀도가 아주 높기 때문에 이송 장

치의 미세한 속도의 변화가 획득 영상에 큰 영향을 준다. 속도의 변화는 다음의 식으로 표현한다.

$$\text{속도의 변화} = \frac{\text{현재 속도}}{\text{기준 검사 속도}} \quad \langle \text{식 2} \rangle$$

여기서 말하는 속도의 변화는 속도의 순간 변화율을 의미하는 가속도와는 다르다. 속도의 변화는 사용자가 요구하는 기준 속도보다 느릴 때와 빠를 때의 두 가지로 나누어 생각할 수 있다.

기준 속도보다 느릴 때는 이미 검사한 영역을 또 검사하기 때문에 검사 시간과 장비의 낭비를 가져오는 단점이 있지만, 검사되지 않는 영역은 없으므로 결점이 있는데도 탐지하지 못하는 경우는 발생하지 않는다. 따라서 단지 결점의 탐지라는 관점에서는 문제가 되지 않는다.

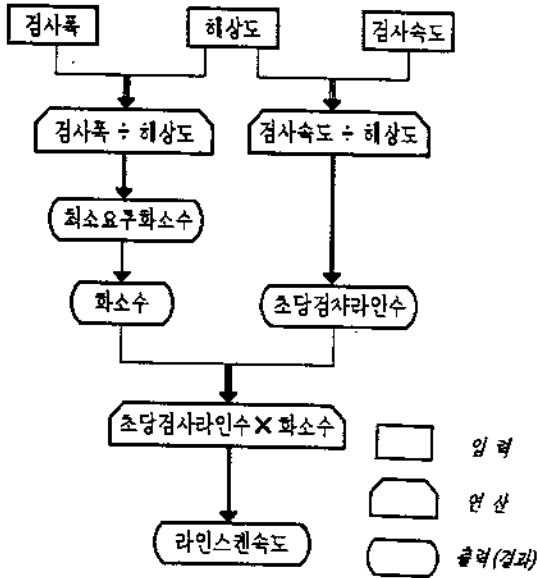
또한 기준 속도보다 빠를 때는 피검물이 카메라를 빨리 지나가게 되면 미처 검사를 하지 못하고 지나가는 미검색 지역이 존재하게 되고, 이 지역에 결점이 있다면 결점을 탐지하지 못하는 문제가 발생하게 된다.

3.2.3 CCD 소자의 결정

카메라의 화소수와 획득율을 결정하기 위해서 고려해야 할 요소는 최소 요구 해상도, 검사폭, 검사 속도이다. 일반적으로 사용 가능한 라인 카메라의 화소수는 256, 512, 1024, 2048, 4096, 6144개이다. 획득율은 초당 몇 화소의 데이터를 받아들이는가를 나타내는 것으로 Hz단위를 사용한다. 획득율이 4kHz라는 말은 1초에 4000개의 데이터를 받아들인다는 말이다. 카메라의 사양에서 획득율은 최대 획득율로 표시가 되며 대부분 최대 획득율 이하로의 조정이 가능하다.

해상도는 카메라에서 한 화소가 실제 검사 대상물에서 차지하는 크기를 말하며, 결점인지를 위해서는 결점의 정의가 해상도가 되며, 치수 측정에서는 허용 오차가 해상도가 된다. 최소 요구 해상도는 사용자가 요구하는 오차보다 클 수 없다.

검사 폭은 피검물을 포함하여 라인 카메라에 획득되는 가로 길이를 말하며 검사 속도는 피검물이 라인 카메라 소자 배열 축의 수직 방향으로 흘러가는 속도



(그림 3.1) 카메라의 화소수와 획득율 결정

를 말하며, 엄밀한 의미에서는 영상의 획득 속도이다. 편의상 라인 카메라 소자 배열 축의 수직 방향을 높이 방향, 그 방향으로의 길이를 높이, 소자 배열축 방향을 폭 방향이라 하겠다.

이제 설명하는 구성은 한 대의 카메라를 사용하여

검사를 수행할 때에 카메라 소자의 화소 수와 카메라의 획득율을 결정하기 위해서는 화소 수와 획득율은 다음의 식에 의해 결정된다.

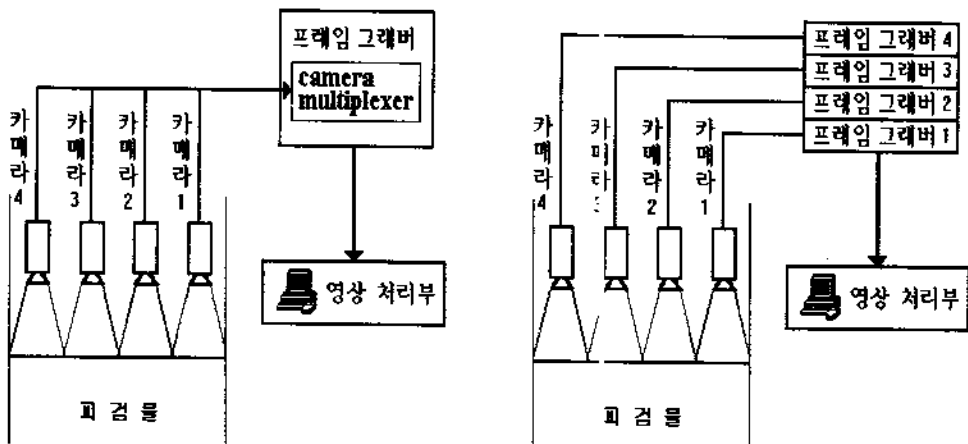
$$\text{화소수} = \text{검사폭} \div \text{최소 요구 해상도} \quad \langle \text{식 3} \rangle$$

$$\text{초당 검사 라인수} = \frac{\text{초당 검사 높이}}{\text{최소 요구 해상도}} \quad \langle \text{식 4} \rangle$$

$$\text{카메라 획득율} = \text{초당 검사 라인수} \times \text{화소수} \quad \langle \text{식 5} \rangle$$

〈식 3〉은 검사에 사용할 카메라의 화소 수를 결정하는 것으로, 검사폭을 최소 요구 해상도로 나누면 이 검사폭을 원하는 해상도로 검사하기 위한 최소 화소 수가 계산되며, 사용 가능한 화소수 중 이 값보다 큰 최소 화소 수를 선택한다. 〈식 4〉는 카메라 획득율을 계산하기 위한 중간 단계로 초당 검사 라인 수를 계산한 식이다. 초당 검사 높이를 최소 요구 화소 수로 나누면 1초 동안 몇 개의 라인을 검사해야 하는지를 알 수 있다.

〈식 5〉는 〈식 4〉에서 구한 초당 검사 라인수를 이용하여 실제로 카메라 획득율을 구하는 식이다. 1초



(a) 하나의 프레임 그래버 사용

(b) 여러 대의 프레임 그래버 사용

(그림 3.2) 카메라와 프레임 그래버의 연결

에 초당 검사 라인 수만큼 검사하며 각 라인에 대해 화소 수만큼 검사를 하므로 1초에 검사하는 총 화소의 수는 초당 검사 라인 수에 화소 수를 곱한 값이 된다.

만약 여러 대의 카메라 사용은 스캔폭이 넓고 결점의 크기가 작아서 화소 수가 크거나 또는 검사 속도가 빨라서 카메라의 획득율이 커질 때는 여러 대의 카메라 사용을 고려한다. 화소 수가 보통 사용할 수 있는 수보다 클 때나 획득율이 아주 클 때는 카메라 제작 회사에 직접 주문 제작하는 방법이 있지만 이것도 어느 정도 한정된 범위 내에서만 가능하며, 비용도 아주 비싸 진다. 하나 이상의 카메라를 사용할 때에는 <그림 3.2>에서 보는 것처럼 폭 방향으로 카메라를 나란히 설치한다. 이렇게 나란히 설치된 카메라에 들어온 영상을 종합하면 전체 폭을 나타내는 영상으로 재구성된다. 라인 스캔 시스템은 여러 대의 카메라를 사용할 때 사용되는 프레임 그래버의 수에 따라 <그림 3.2(a)>처럼 여러 대의 카메라와 하나의 프레임 그래버를 사용할 수도 있고, <그림 3.2(b)>처럼 여러 대의 카메라와 여러 대의 프레임 그래버를 사용할 수도 있다.

3.2.4 조명 장치의 결정

조명원의 조도는 라인 스캔 시스템에 사용되는 카메라는 고속의 획득율을 가지고 있으므로 조명장치를 설계할 때에는 카메라로 들어가는 조명장치의 조도를 고려하여야 한다. 카메라에 입력되는 조도는 사용되는 CCD소자의 특성에 따라 다른 출력(gray level)을 보인다. 조도가 일정할 때 카메라의 획득율이 커질수록 획득 영상이 어두워지는 경향이 있다. 조명원 중에는 조도의 조절이 가능한 것들이 있어서 이들을 이용할 경우 큰 문제가 되지는 않는다.

조명원의 주파수는 사용자가 요구하는 검사 속도에 의해 카메라의 획득율이 계산되고 이 획득율과 광원의 주파수에 따라 획득 영상에 영향을 미치므로 적절한 주파수 성분을 가진 광원을 선택하여야 한다. 출력이 직류인 경우에는 주파수가 없기 때문에 균일한 조명 조건하에서 영상을 획득할 수 있지만, 직류 출력이 조명을 항상 사용할 수 있는 것은 아니다. 출

력이 교류인 경우에는 카메라의 획득율보다 주파수가 큰 조명원을 사용하여야 균일한 조명 조건하에서의 영상 획득이 가능하다.

3.2.5 렌즈 및 카메라에서 피검물까지의 거리 결정
소자 하나의 크기를 알고 있을 때 카메라의 화소 수가 결정되면 소자의 길이를 알 수 있다. 소자의 길이와 검사폭의 비에서 렌즈의 배율이 계산된다. 배율이 결정되고 카메라의 구조에서 렌즈와 소자 사이의 거리가 정해지면, 카메라에서 피검물 사이의 거리가 계산된다.

카메라에서 피검물 사이의 거리와 배율을 알면 렌즈의 초점 거리가 <식 6>에서 계산된다. 판재 형상과 같은 2차원 물체를 검사하는 경우에는 피사계 심도가 문제가 되지 않지만, 기계 부속과 같은 3차원 물체를 검사하는 경우에는 물체 위의 모든 점들이 <식 7>에서 정해지는 피사계 심도 내에 있어야 한다. 위에서 계산된 카메라에서 피검물 사이의 거리가 실제 검사 현장에서 불가능할 경우에는 줌(Zoom) 렌즈를 사용할 수도 있다.

$$f = \frac{Do}{1 + \frac{1}{m}} \quad \text{〈식 6〉}$$

$$\text{Depth of field} = \frac{2af(m+1)}{(m)^2} \quad \text{〈식 7〉}$$

위의 과정을 정리하면 다음과 같다.

① 소자의 물리적 길이 계산

$$\text{소자의 길이} = \text{소자 하나의 길이} \times \text{화소수} \quad \text{〈식 8〉}$$

소자 하나의 길이는 사용되는 소자의 제조회사에 따라 정해지고, 화 소수는 카메라의 화 소수와 획득율을 곱해서 정해진다.

② 렌즈의 배율 계산

$$\text{렌즈의 배율} = \frac{\text{소자의 길이}}{\text{검사폭}} \quad \text{〈식 9〉}$$

소자의 길이는 ①에서 계산되며 사용자가 요구하는 검사폭에서 렌즈의 배율을 계산한다.

③ 카메라와 피검물의 거리 계산

$$\text{물체까지의 거리} = \frac{\text{소자까지의 거리}}{\text{배율}} \quad \langle \text{식 10} \rangle$$

카메라의 구조에서 소자까지의 거리가 정해지며 배율은 ②에서 계산된다.

④ 초점 거리 계산

$$\text{초점 거리} = \frac{\text{물체까지의 거리}}{1 + \frac{1}{\text{배율}}} \quad \langle \text{식 11} \rangle$$

위의 ②와 ③에서 계산된 물체까지의 거리와 배율에서 초점 거리를 계산한다.

⑤ 피사계 심도 계산 및 고려

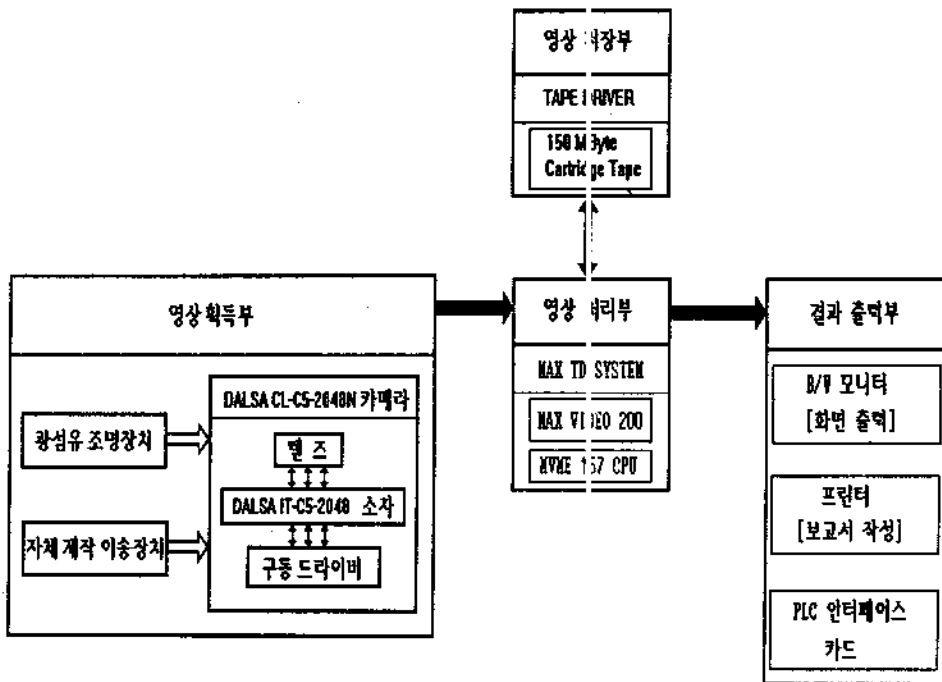
⑥ 마운트 선택

3.3 시스템 적용 사례

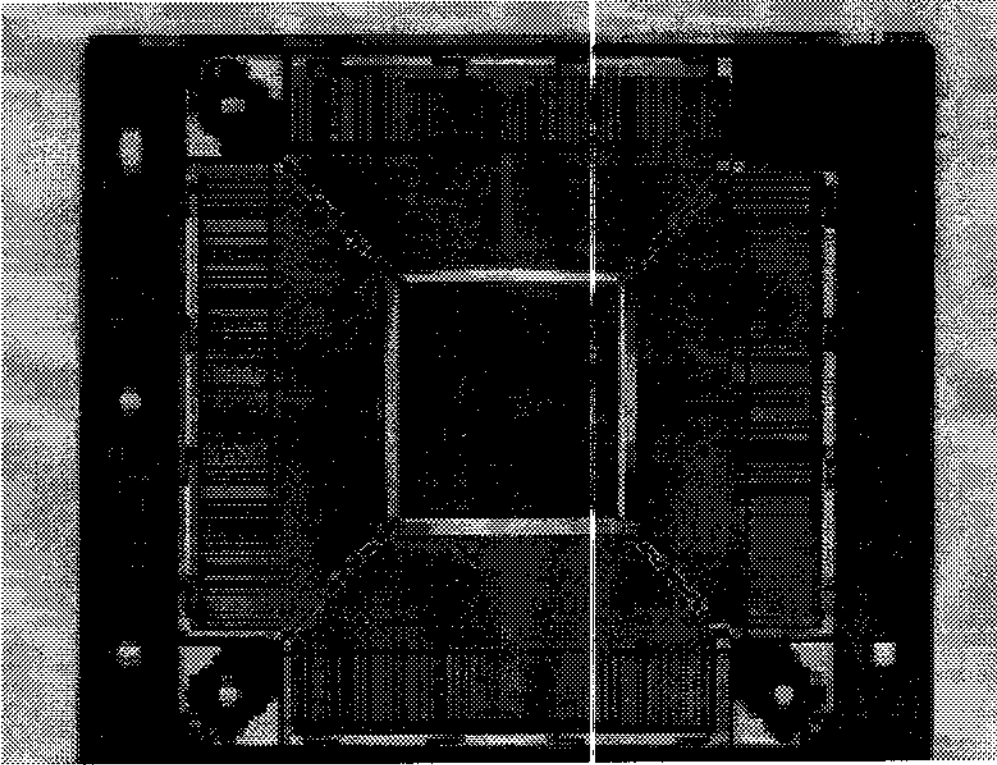
본 논문의 이론적인 연구결과를 바탕으로 구축된 실시간 영상획득 컴퓨터 비전 시스템의 하드웨어 구성도는 (그림 3.3)와 같으며, 적용 대상으로 리드 프레임의 예를 들면 공정과정에서 발생하는 스크래치, 피트 등 다양한 결점을 자동으로 실시간에 검사하기 위해서는 왜곡되지 않은 영상 획득이 가장 중요하다. 본 시스템에 의해 획득된 하나의 리드 프레임 영상이 (그림 3.4)와 같다.

본 시스템은 UNIX의 일종인 LynxOS를 운영 체제로 하며, 적용 프로그램을 위해 구현한 언어는 C언어이고, DataCube의 MAX VIDEO 200에서 제공하는 Image Flow 라이브러리가 사용되었다.

영상 처리부는 사용자의 주문에 의해 DataCube사에서 만든 MAX TD 시스템이 사용되었으며 프레임 그래버의 기능을 모두 포함하는 영상 처리 전용 장비이다. 여기에는 MAX VIDEO 200 이미지 프로세서가 있고 CPU로는 Motorola MVME 167을 사용한다.



〈그림 3.3〉 리드 프레임 검사 하드웨어 시스템 구성도



〈그림 3.4〉 획득된 리드 프레임 영상

MAX TD는 고속의 획득율을 유지하기 위하여 파이프 라인 구조를 채택하여 영상이 처리부 내에서 흘러가면서 순서대로 처리된다.

결과 출력부는 B/W 모니터, 프린터, PLC 인터페이스 카드로 이루어져 있는데, B/W 모니터는 결과 영상을 화면으로 출력하기 위한 것이고 프린터는 검사 결과를 문서로 보고하기 위한 것이며 PLC 인터페이스 카드는 피검물의 이동 장치를 제어하는 PLC에 양·불량 신호를 보내어 적절한 조치를 취하게 하기 위한 것이다. 하나의 리드 프레임을 저장하기 위해서는 $2K \times 2K = 4MByte$ 가 필요하며, 한 스트립의 영상을 저장하기 위해서는 $5 \times 4MByte = 20MByte$ 의 메모리가 필요하다. 본 시스템에서는 테이프 드라이버를 이용하여 150MByte Cartridge Tape에 영상을 저장할 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 연속적인 물류의 흐름을 가지고 있는 저품의 검사 공정의 자동화를 위해서 라인스캔 카메라를 영상 획득부로 하는 라인 스캔 시스템의 즉각 구성 요소를 선택할 때 고려 사항들을 살펴보고 해결 방안을 제시한다. 아울러 이 연구를 토대로 리드 프레임 검사를 위한 라인 스캔 시스템을 구축하였다. 라인 스캔 시스템은 고 해상도와 고속의 획득율을 가지고 있어서 연속적인 물류의 흐름을 유지할 수 있다는 장점이 있다.

이 연구의 성과는 먼저 사용자의 요구를 분석하는 체계적인 분석 방법을 제시하였으며, 라인 스캔 시스템의 구성 요소들을 체계적으로 결합하는 방법을 제시한 것이다. 여기서 제시한 기준에 의하여 구축된 영상 획득부를 이용하는 라인 스캔 카메라의 적용분야는 Web inspection(lead frame, PCB 등), 문서 인식, 바

코드 시스템 등이 있다. 여기서 Web Inspection은 검사 대상물이 연속적으로 검사되는 형태의 검사 시스템을 말하며 다음과 같은 분야가 있다[10].

- ◆ 판재 형상 : 유리, 금속판, 수지판, PCB
- ◆ 디스크 형상 : 하드 디스크, CD, 웨이퍼
- ◆ 박판 형상 : 비닐 시트, 종이류, 자기 필름
- ◆ 원통 형상 : VTR 헤드, 드럼 스캐너

본 연구와 관련하여 추후 연구가 더 이루어져야 하는 분야는 다음과 같다. 첫째, 조명장치의 조도가 일정할 때 카메라의 획득율이 커질수록 획득 영상의 밝기는 어두워진다. 따라서 조도와 획득율과 획득 영상의 밝기에 관한 연구를 통해 이들 사이의 관계를 규명하는 작업이 요구된다.

둘째, 조명장치 주변에서 사용되는 장비의 작동으로 인한 전압의 변화나 작업중의 온도 변화가 조도의 변화를 가져 와서 결과적으로 영상 자체의 밝기의 변동을 가져 올 수 있으므로 조도를 계속적으로 감지하면서 실시간으로 변화시킬 수 있는 조명장치의 개발이 필요하다.

셋째, 요구되는 카메라의 화소 수가 사용 가능한 화소 수보다 많을 때 본 연구에서 여러 대의 카메라를 사용하는 방법을 제시하였다. 이를 실제로 생산 라인에 적용할 때 각 카메라에서 획득된 영상 정보 통합 등의 문제가 발생할 수 있으므로 이에 관한 연구가 필요하다.

마지막으로, 검사 대상 특성에 따라 Structured Lighting을 사용하면 처리가 간단한 경우를 고려해야 하며 이에 관한 연구와 체계화가 필요하다.

[참고문헌]

[1] DALSA Inc., DALSA DATABOOK, DALSA Inc., 1994

[2] EG&G RETICON, Solid State Camera Products, EG&G RETICON, 1994

[3] Freeman, Michael, ed., Bibliography, 1988

[4] Katz, Jerome, How to Think Lenses and Focal

Lengths, 1987

[5] Konrad J. Stahl, Expanding Applications Prompt Developments in Technology, LAURIN PUBLISHING Co., INC. 1994

[6] Louis J. Galbiati, Jr., MACHINE VISION AND DIGITAL IMAGE PROCESSING FUNDAMENTALS, Prentice-Hall INC., 1990

[7] Miller, E. E. and Roesler, F.L., Applied Optics, 1988

[8] Ra'ael C. Gonzalez and Richard E. Woods, Digital Image Processing, Addison Wesley, 1992

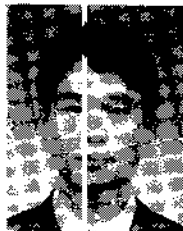
[9] 이 상현, 실시간 전처리를 위한 고속 비전 시스템의 설계, 1993

[10] 조 인걸, 미세 결점 인식을 위한 Line Scan 시스템 개발에 관한 연구, 1994

[11] 황 왕수, 사진 기술 핸드북, 다보문화, 1987



장동식(張東植)
1956년생.
1979년 고려대 공대 산업공학과 졸업.
1985년 TEXAS 주립대 산업공학과 졸업 (석사).
1988년 TEXAS A&M Univ. 산업공학과 졸업 (박사).
현재 고려대학교 산업공학과 부교수.
관심분야: 컴퓨터 비전, 공장자동화, AI



김용덕(金勇德)
1970년생.
1993년 고려대 공대 산업공학과 졸업.
1995년 고려대 산업공학과 졸업 (석사).
현재 LG산전 교통관계 연구실 도로교통팀
관심분야: 컴퓨터 비전, NETWORK

95년 5월 최초 접수, 96년 3월 최종 수정