

## 비전 시스템을 이용한 태양광 조명 장치

\*김인욱, \*임동진  
\*한양대학교 전자컴퓨터공학부

### Sun-Tracking System Using Vision Sensor

\*In-Uk Kim, Dong-Jin Lim  
\*Dept. of Electrical Engineering and Computer Science at Hanyang University

**Abstract** - 지구에 공급되는 태양열은 지구상의 모든 인간이 필요로 하는 총 에너지량의 10,000배 이상으로 매우 풍부할 뿐만 아니라 무공해 에너지원으로 매우 좋은 조건을 갖추고 있는데 비해 실제 이용은 태양광 발전장치와 온수 난방에 한정되어 있다. 특히 우리나라는 일사량이 풍부하고 인구밀집 거주지역이 많아 태양에너지 이용이 적절한 것으로 분석된 바 있으며, 환경오염문제가 심각하게 대두되고 있는 상황에서 에너지와 환경문제를 동시에 해결할 수 있는 태양 에너지에 대한 기술개발 및 보급이 반드시 필요하다고 판단된다. 본 연구는 태양광을 집광하여 건물 내에 분배하는 장치를 개발하여 건물 전체 전기에너지 소비량의 약 1/3을 차지하고 있는 조명용 전기 에너지를 절약함으로써 에너지 절약은 물론 환경오염을 줄이는데 그 목적을 두고 있다.

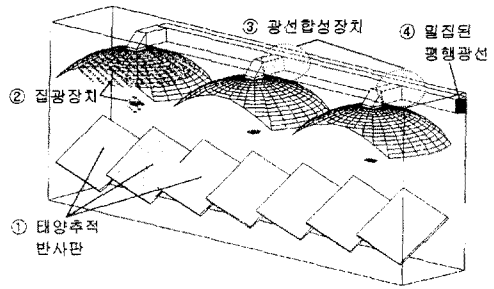


그림 1. 조명장치의 구조

그리고 아래의 그림에 주 시스템과 보조 시스템 그리고 조명장치를 이용해서 구성한 전체시스템의 제어 블록도를 표시하였다.

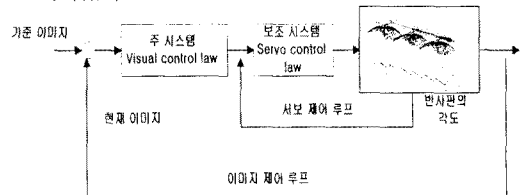


그림 2. 전체시스템의 제어 블록도

## 1. 서론

비전 시스템을 이용한 태양광 조명장치는 시스템의 구성을 중심으로 살펴보면 화상처리 및 비주얼 서보 제어 시스템, 서보 모터 제어 시스템 그리고 실제의 조명장치로 이루어진다. 그리고 기능 면에서는 영상처리, 화상의 획득 및 인식, 이미지 제어, 서보제어 등으로 나눌 수 있다. 이러한 여러 가지의 기능들은 하드웨어와 소프트웨어로 이루어지는데 다음 장에서는 각각의 기능을 중심으로 연구된 내용과 개발내용에 대해 설명하고 그 결과에 대해서 설명할 것이다.

## 2. 본론

### 2.1 시스템 설계

태양광 조명장치의 구조는 크게 화상처리 및 태양의 위치정보 수집과 제어명령의 생성을 주된 기능으로 하는 주 시스템(Main system)과 주 시스템의 제어명령에 따라서 반사판의 각도를 제어하는 보조 시스템(Sub system), 그리고 태양광을 반사하고 집광하는 집광 시스템의 세 가지로 나뉘어 진다.

주 시스템의 역할은 Windows 95를 기반으로 운영되는 PC가 담당하게 되는데 주 시스템의 기능은 다시 두 가지로 나뉜다. 첫 번째는 태양의 이미지를 캡처하여 태양의 위치정보를 획득하고 얻어진 태양의 이미지를 기준으로 하는 Image-based visual servo controller를 구성하는 것이고 두 번째는 조명장치를 제어하는 서보 제어 기와의 직렬 인터페이스를 통하여 제어 명령을 전달하고 조명장치의 상태를 모니터링 하는 기능이다.

보조 시스템은 주 시스템으로부터 위치제어 명령을 받아서 반사판의 각도를 제어하는 기능을 수행한다. 조명장치는 아래의 그림과 같이 태양광을 수직으로 반사하는 반사판과 이를 한 점으로 모은 후에 모아진 빛을 다시 평행광으로 만드는 집광장치, 그리고 여러 개의 평행광을 합성하는 합성장치로 구성된다. 평면 반사판에 의해 수직으로 올라온 광선은 상부의 큰 오목거울에 의해 초점을 가지게 되고 다시 역상으로 되는 곳에 위치한 작은 오목거울에 의해 집광 된다. 그리고 집광된 태양광은 상부 오목거울의 중앙에 있는 구멍을 통하여 광선합성장치로 들어간다. 아래의 그림은 본 장치의 구조를 나타낸 것이다.

### 2.2 태양 추적 시스템 소프트웨어

태양의 위치정보를 파악하기 위한 주 시스템의 소프트웨어 구조는 아래의 그림과 같다.

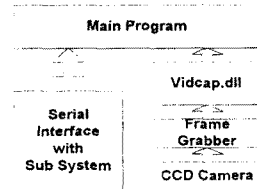


그림 3. 주 시스템의 소프트웨어 구조

CCD camera로부터 입력된 영상을 캡처하기 위해서 별도의 영상 캡처 보드를 사용하였다. Main 프로그램은 Visual Basic 6.0을 이용하여 사용자의 편의성을 고려해 Windows 기반의 GUI환경으로 제작되었으며 Frame grabber board를 구동하기 위한 vidcap.dll 등의 하드웨어적인 루틴들은 Visual C++를 사용하여 구현하였다. 구현된 DLL 파일은 main 프로그램의 동작 중에 필요할 때에 호출되어 다음과 같은 정해진 기능들을 수행한다.

- 입력영상신호의 선택 ( NTSC / PAL )
- 영상의 출력방식 선택 (Over-ray / Preview )

- 영상의 파일포맷 선택 ( 16 / 24 bits 비트맵 )
- 영상의 화면 출력
- 입력영상의 비트맵 파일 저장

그리고 서보제어를 담당하는 보조 시스템과의 통신을 위해 직렬 인터페이스 기능을 함께 구현하였다. RS-232 포트를 통한 직렬 인터페이스기능은 태양의 기준 위치와 현재의 태양 위치를 파악하여 계산된 오차를 근거로 하여 반사판이 움직여야할 각도를 제어모듈로 전송하고 매 순간 변화하는 반사판의 각도를 전송 받아서 사용자에게 표시하는 역할을 담당하고 있다.

태양 추적 소프트웨어는 다음과 같은 방법으로 동작한다. 우선 시스템이 동작하기 시작하면 제일 먼저 현재의 시간을 얻은 후 현재 시간에 따른 태양의 위치를 계산한다. 태양의 위치가 얻어지면 반사판이 회전해야할 각도를 계산하여 제어모듈로 전송하고 시스템의 타이머를 동작시켜 일정한 주기로 영상을 얻어 태양의 위치를 파악하고 제어명령을 보조 시스템으로 전송하며 제어 모듈에서 보내진 반사판의 각도를 화면에 표시한다. 그리고 실행중에 사용자의 입력이 있으면 그에따른 동작을 수행한다.

### 2.3 반사판 제어모듈의 구현

두 개의 모터를 제어하기 위한 서브 시스템은 메인 시스템의 제어명령을 받아서 해석하고 이를 처리하는 제어부와 전력공급을 위한 전력 증폭부, 아날로그와 디지털 데이터사이의 변환을 위한 AD/DA 변환부 그리고 메인 시스템과의 통신을 위한 직렬 인터페이스부 등으로 구성된다. 제어부에 사용된 마이크로 프로세서는 NEC의 V25 마이크로 콘트롤러를 사용하였고 데이터 수집 및 변환 장치로써 MAXIM 사의 12 bits ADC인 MAX 197과 Analog Device 사의 12 bits DAC 인 AD7247을 각각 사용하였다.

제어 모듈은 반사판의 동작을 제어하기 위한 두 개의 서보 제어 루프를 가지는데 하나는 반사판의 좌우 회전을 위한 것이고 나머지 하나는 상하회전을 위한 것이다. 주 시스템에서 전송되어진 제어명령은 직렬 인터페이스를 통하여 CPU에 전달되고 이 값을 기준으로 CPU는 ADC에서 받아들인 두 개의 센서값과 비교하여 오차를 계산한 후 제어명령을 생성하여 DAC를 통해서 반사판과 연결된 2개의 모터를 제어하게 된다.

반사판의 움직임에 따라서 카메라에 잡히는 태양의 위치는 변하게 되며 이러한 위치의 변화는 비전시스템을 이용하여 파악되고 그에 따른 새로운 제어명령이 주 시스템으로부터 보조 시스템으로 전달된다. 아래의 그림은 반사판 제어 모듈의 구성도를 나타낸 것이다.

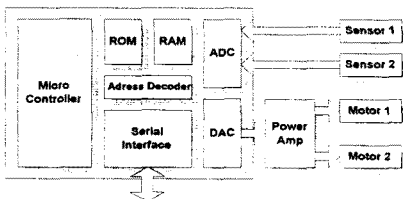


그림 4. 제어모듈의 하드웨어 구조

제어모듈의 펌웨어에서는 CPU 내부에 존재하는 2개의 타이머를 각각 1 msec 와 100 msec 로 동작시키고 각각의 인터럽트 함수를 정의하였다. 1 msec 타이머에 해당하는 인터럽트 루틴은 반사판의 제어를 위하여 ADC를 통해 센서값을 읽어 들이고 제어 명령을 계산하여 DAC로 출력하는 부분이고 두 번째의 타이머에 해당하는 루틴에서는 현재 반사판의 각도를 주 시스템에 전달하는 부분이 포함되어 있다.

### 2.4 화상처리 기능

비전 시스템은 태양의 위치를 파악하기 위해서 캡처 디바이스를 사용하여 입력된 영상으로부터 장치독립적 비트맵(DIB) 파일을 생성하고 이 파일로부터 태양의 위치를 알아내기 위해서 bitmap 으로부터 헤더를 제외한 영상의 raw data를 추출하여야 한다. 비트맵 파일은 정해진 구조의 헤더를 갖는다. 그리고 헤더의 다음부터가 실제 비트맵의 그림 데이터이다. 그러므로 비트맵의 raw data를 얻기 위해서는 헤더를 먼저 읽어들이고 후에 정해진 pixel 수만큼의 data를 읽어야 한다.

아래의 그림은 CCD camera의 렌즈 부분에 필터를 씌운 후에 찍은 영상을 캡처한 것이다. 태양의 이미지는 위의 그림과 같이 원에 가까운 모양을 하고 있다. 태양의 위치를 파악하기 위해서는 먼저 원래의 영상을 이진영상으로 바꾸어야 한다.

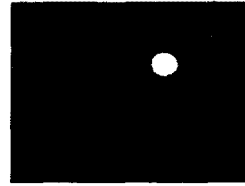


그림 5. 원래 영상

이진영상으로 변환하는 과정은 원래영상의 한 픽셀에 있는 R,G,B 값의 평균을 새로운 픽셀값으로 설정하고 이 값의 크기가 정해진 임계값보다 크면 흰색으로, 작으면 검은색으로 설정함으로써 수행된다. 임계값의 크기에 따라서 변환된 결과영상에는 많은 차이가 있으므로 사용자가 이 값을 바꿀 수 있도록 하였다. 아래의 그림은 여러 가지 임계값에 대한 변환 후의 영상이다. 참고로 설정가능한 임계값의 범위는 0~255 사이의 값을 가진다.



그림 6. 임계값 110과 130일 때의 이진영상

이진영상으로 변환한 다음에는 impulse 성 노이즈를 제거하기 위하여 다음의 그림에서 보는바와 같이 영상의 히스토그램을 분석하여 크기가 가장 큰 물체 이외의 다른 픽셀은 모두 잡음으로 간주하여 삭제한다.

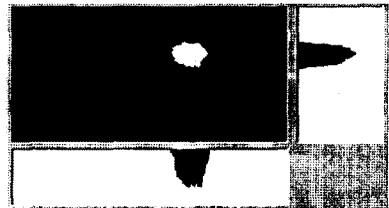


그림 7. 이진 영상의 히스토그램

마지막으로 태양의 위치를 얻기 위해서는 잡음이 모두 제거된 영상에서 object 들을 둘러싸는 최소 크기의 사각형을 구한다. 그리고 사각형의 가로길이를 세로길이의 비율을 계산하여 그 비가 일정범위 안에 존재하는지를 조사한다. 다음은 비록 사각형의 비가 위와 같은 조건을 만족 하더라도 사각형으로 둘러싸인 object가 원에 가까운지를 검사하기 위해 다음과 같은 방법을 적용하였다. 이상적인 원인 경우 그 원을 둘러싼 사각형은 정사각형이 된다. 그러므로 정사각형의 면적으로 원의 면적을 나눈다면 그 값은 정확하게  $\pi/4$ 가 될 것이다. 그러나 이것은 이상적인

경우이므로 일반적인 경우를 고려해서 임계값을 설정하여 원인지를 판별하고 원으로 판별되었으면 그 중심 좌표를 계산한다. 이러한 방법은 태양의 움직임이 그리 빠르지 않으므로 수 초 간격으로 수행되도록 설정하였다.

## 2.5 결과 및 고찰

위에서 기술한 각각의 기능들이 모두 구현된 후에 전체 시스템을 통합하는 작업이 진행되었다. 아래의 그림은 현재 구현이 완료된 응용 프로그램의 실행 모습이다. 프로그램의 좌측 상단은 지리적인 정보와 시간 정보를 입력하는 부분이고 그 아래는 현재 카메라에서 보내는 영상과 이를 화상 처리한 후의 영상을 나타내는 부분이다. 그리고 오른쪽에는 현재의 반사판의 각도가 제어 명령의 각도와 일치하는지를 모니터링 할 수 있도록 구현하였고 상단의 메뉴에는 영상의 명암(bright)과 대비(contrast)값을 조정하는 비디오 조정 메뉴와 화상처리에 필요한 r,g,b 삼원색의 임계값을 조정하는 색 조정 메뉴를 두어서 프로그램의 실행 중에 영상처리 파라미터들을 사용자가 변경할 수 있도록 하였다.

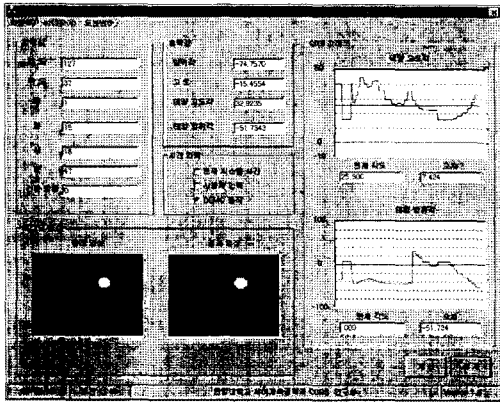


그림 8. 응용 프로그램의 실행 예

아래의 그림은 개발이 완료된 반사판과 제어모듈, 그리고 집광장치를 통합한 시스템의 모습이다.

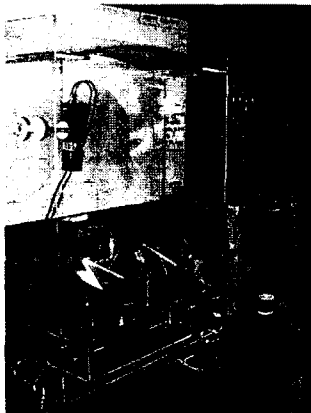


그림 9. 전체 시스템

실험은 시간에 따른 태양의 위치계산에 의한 방법과 이번 개발에서 구현된 비전 시스템을 이용한 방법의 두 가지로 나누어 수행하였다. 두 경우의 비교는 집광된 빛의 양을 광 센서를 이용하여 일정시간동안 측정된 후 그 평균값을 구하는 방법을 사용하였다. 먼저 위치 계산에 의한 방법을 이용하여 집광된 빛의 양을 1분 간격으로

30분 동안 측정된 평균값은 9.63 이었고 비전 시스템을 이용하여 같은 방법으로 구한 평균값은 11.27 이었다. 이 실험에서 측정된 시간은 같았지만 동시에 실험을 병행한 것이 아니라 순서대로 수행되었기 때문에 약간의 오차를 감안하더라도 후자의 방법이 약 15 % 이상 많은 빛을 모을 수 있었다. 이러한 결과가 나오는 이유는 다음과 같은 몇 가지를 생각해볼 수 있다.

- 시간을 이용한 방법에서는 현재의 시간과 분을 입력하게 되어있는데 실제 태양은 1분 동안에 약 0.2 도 정도를 움직이기 때문에 그 만큼의 각도 오차가 생기게 된다.

- 시간을 이용하는 방법에서 입력해야하는 현재 위치에 대한 지리적 정보가 정확하지 않기 때문이다. 다시 말해서 시간은 표준시로 정해져 있는 다른 장소의 시간을 사용하고 지리적인 정보는 시스템이 위치한 장소의 정보를 사용하기 때문에 오차가 발생한다.

즉, 비전을 이용한 집광 시스템은 위에서 기술한 몇 가지의 단점을 보완, 해결하여 위치나 시간등의 오차에 관계없이 항상 가능한 한 최대의 광량을 얻을 수 있는 방법이라고 하겠다.

## 3. 결 론

개발이 완료된 시점에서 태양 추적 소프트웨어, 반사판 제어 모듈, 화상처리 기능 그리고 조명장치의 제작 등이 완료되었으며 각각의 기능들을 하나의 시스템으로 통합하는 작업이 모두 완료되었다. 그리고 시스템의 통합 후에 실험을 통해서 전체 시스템의 동작을 시험하였으며 시간에 의해 계산된 태양의 위치를 이용하는 방법에 비하여 보다 정밀한 제어를 수행함으로써 같은 조건에서 훨씬 더 많은 광량을 얻을 수 있음을 알 수 있었다. 또한 빠른 응답속도를 요구하는 서보제어계를 별도의 제어 모듈로 분리시킴으로써 PC는 화상처리만을 담당하도록 하여 복수개의 집광장치를 설치하는 경우에도 전체 시스템의 성능 저하가 일어나지 않도록 하였다.

### [참 고 문 헌]

- [1] JACOB, "Industrial Control Electronics," Prentice Hall
- [2] Alan Watt, Fabio Policapo, "The Computer Image", Addison Wesley
- [3] Randy Creane, "Simplified approach to Image Processing", Prentice Hall
- [4] "Inside Visual C++", Microsoft Press
- [5] 주경민, 박성환, "Visual Basic 6.0 Bible" 영진 출판사
- [6] K. Ishino and Y. Narumiya, Am. Ceram. Bull., 66(1987)