

펄스 위상차와 스트럭처드 라이트를 이용한 이동 로봇 시각 장치 구현

*방석원 *정명진 **서일홍 ***오상륙
*한국과학기술원 전기및 전자공학과 **한양대학교 전자공학과 ***한국과학기술연구원

Implementation of Vision System for a Mobile Robot using Pulse Phase Difference & Structured Light

*S.W.Bang *M.J.Chung **I.H.Suh ***S.-R. Oh
*Dept. of EE., KAIST **Dept. of EE., Hanyang Univ. ***KIST

Abstract

Up to date, application areas of mobile robots have been expanded. In addition, Many types of LRF(Laser Range Finder) systems have been developed to acquire three dimensional information about unknown environments. However in real world, because of various noises (sunlight, fluorescent light), it is difficult to separate reflected laser light from these noise. To overcome the previous restriction, we have developed a new type vision system which enables a mobile robot to measure the distance to a object located 1 - 5 (m) ahead with an error than 2%. The separation and detection algorithm used in this system consists of pulse phase difference method and multi-stripe structured light. The effectiveness and feasibility of the proposed vision system are demonstrated by 3-D maps of detected objects and computation time analysis.

1. 서론

오늘날 사각 보행 로봇, 이동 로봇 등의 개발은 로봇의 활동 공간을 고정된 위치 또는 실내와 같은 작업 환경에 관한 정보를 미리 확보할 수 있는 곳에서 넓은 작업장 또는 실외와 같은 주변 환경에 관한 사전 정보 확보가 어려운 장소로까지 확대 가능하게 하고 있다. [1] 이러한 흐름속에서 로봇은 주변 환경에 대한 정보가 부족한 곳이나 복잡하고 밝기의 변화가 심한 상황에서도 로봇의 작업 수행에 필요한 주변 환경 인식, 충돌 회피, 물체 인식 등을 행하기 위한 적응 능력 및 판단력이 요구된다. 이를 위하여 환경에 대한 3차원 정보의 획득은 가장 효과적인 방법이다. 인간의 경우 여러 감각 기관을 이용하지만 그중 시각을 통하여 다양한 방식으로 3차원 정보를 얻는다. [2, 3, 4] 로봇의 경우 각종 센서를 부착하여 여러가지 정보를 얻어 이용하려는 수많은 연구들이 진행되어 왔었다. 이 중에서 레인지 파인더(range finder)는 주변 환경 및 작업 대상에 대한 거리 정보를 제공함으로써 로봇의 3차원적 인식과 판단 능력에 매우 효과적이었다. [5] 그러나 최근 로봇의 활동 공간 확대로 주변 환경에 대한 정보를 미리 확보하기 어렵고 노이즈가 많은 상황에서 로봇의 실시간 제어를 위한 고속 신호 처리가 가능하고 또한 정확한 정보를 얻을 수 있는 레인지 파인더의 연구가 더욱 필요하다.

기존의 방식으로는 우선 비행 시간(time-of-flight) 방식을 들 수 있다. 이 방식은 비교적 저렴하고 간단하지만 높은 해상도를 얻을 수 없다. [6, 7] 다음 스테레오 비전(stereo vision) 방식이 있다. 이 방식은 삼각도법을 이용한 것으로 능동 광원 없이 구성할 수 있지만 일반적으로 계산량이 방대하여 고속 신호 처리

에 불리하다. 다음으로 스트럭처드 라이트(structured light) 방식이 있다. 이 방식은 레이저와 같은 능동 광원을 이용하여 미리 결정된 형태로 빛을 대상물에 비추고 카메라와 같은 센서를 사용하여 거리 정보를 얻는다. 이 경우 계산량이 적어서 고속 신호 처리가 가능하지만 노이즈가 많은 상황에서 레이저 반사 지점을 추출하기 어렵고 삼각도법에 의한 감지 불능 지역이 생기는 단점이 있다.

본 논문에서는 스트럭처드 라이트 방식의 단점을 보완하고 더욱 효과적으로 응용하여 다양한 환경 변화에 유용하고 주변 환경에 대한 거리 정보를 실시간내에 얻어낼 수 있는 시스템을 고안하였다.

스트럭처드 라이트 방식은 원래 컴퓨터 비전(computer vision)이나 기계 지능(machine intelligence)분야에서 제한된 환경속에서 간단한 물체 인식을 위해 도입 되었고[8, 9, 10] 이후 보다 효과적인 데이터 처리와 물체 인식을 위한 연구가 진행되었다. [11, 12, 13, 14] 그러나 이러한 연구는 작업 환경에 대한 정보가 미리 확보되어 있거나 광학적 노이즈에 약하여 정보를 얻기에 적합한 환경을 구성하였다. 1988년 Kazuhiro Yoshida와 Shigeo Hirose[15]는 펄스 위상차 방식(pulse phase difference method)를 사용하여 야외와 같은 노이즈가 많고 환경의 변화가 심한 곳에서 효과적으로 거리 정보를 얻을 수 있는 시스템을 하드웨어로 실현하였다. 하지만 여기서는 한 번의 스캐닝(scanning)으로 한 점의 거리 정보만 얻을 수 있고 두대의 카메라의 동기화, 2차원적 레이저 스캐닝 각도 제어등 여러가지 복잡한 구조가 요구된다. 본 논문에서는 He-Ne 가스 레이저, 두대의 CCD 카메라, 광학적 필터, IBM PC/AT, 비전 보드의 장비를 사용하여 차 영상(difference image)과 펄스 위상차 방식을 스트럭처드 라이트에 적용함으로써 아래의 목표를 이루고자 한다.

- (i) 주행 로봇의 충돌 회피 등을 위한 실시간 거리 정보 추출 알고리즘을 구현한다.
- (ii) 복잡한 주변 환경 또는 밝기의 변화에 의한 노이즈에 강한 시스템을 구성한다.
- (iii) 낮은 레이저 강도를 사용하여 인체에 손상이 없도록 한다.
- (iv) 그림자 효과(shadow effect)를 최소화한다.
- (v) 1 m에서 5 m의 측정 범위를 가지면서 2% 이하의 오차를 갖는다.

수행 시간의 평가를 위하여 DSP 56000의 연산 속도를 기준으로 10,000개 지점의 거리정보 획득 소요시간을 대표화 하였다. 노이즈에 대한 처리 평가를 위하여 직사광선하의 대상물체에 대한 실험 결과를 실었다. 또한 레이저의 강도는 2 mW이하로 제한하여 실험하였다.

2. 시스템의 구성

본 연구에서는 주변에 대한 3차원 정보를 얻기 위한 전체 시스템을 단순한 실험 차원에서 뿐만 아니라 실제 이동 로봇에 부착할 수 있도록 설계 제작하였다. 그림 2-1은 전체 시스템의 구성을 간략히 나타낸 것이다. 전체 시스템의 구성은 크게 소프트웨어와 하드웨어 부분으로 나눌 수 있다. 하드웨어 부분으로는 스트럭처드 라이트를 만들기 위한 스캐너(scanner), 레이저를 발생하는 He-Ne 가스 레이저, 스텝핑 모터를 구동시킴 컨트롤러, 전체 시스템을 운영할 IBM PC AT, 두대의 CCD 카메라, 영상처리를 위한 비전 보드(vision board), 광학 필터(optical filter)등으로 구성되어 있다. 소프트웨어 부분으로는 두 대의 카메라에서 각각 레이저가 있는 영상과 없는 영상의 차(difference)를 구하는 차 영상 획득 과정과 두 대의 카메라측에서 각각 구한 차 영상을 이용하여 펄스 위상차(pulse phase difference)과정, 또 이를 이용하여 각 반사 지점까지의 거리를 구하고 효과적으로 저장하는 과정 등으로 크게 나눌 수 있다. 그림 2-2는 소프트웨어의 알고리즘을 나타낸다.

2-1. 차 영상(difference image)의 획득

차 영상이란 두 영상의 동일한 좌표에 해당하는 점의 값의 차를 같은 좌표 평면위에 나타낸 영상이다. 본 실험에서는 차 영상을 이용하여 레이저 빔의 반사 지점의 노이즈를 제거하고 또 그 지점을 찾아내는데 사용하였다. 그림 2-3의 (a)와 (b)는 각각 레이저 스트라이프(stripe)이 대상 물체에 주사되었을때 영상과 주사되지 않았을때의 영상을 수평방향으로 그 영상의 강도(intensity)에 대한 그래프이다. 그림 2-4는 그림 2-3에 대한 차 영상의 그래프이다. 이때 레이저가 반사되는 지점의 강도 값이 상대적으로 큰 것을 알 수 있다. 그러나 실제로 밝기의 변화가 심하고 복잡한 곳에서는 상당히 많은 노이즈가 존재한다.

2-2. 펄스 위상차 (pulse phase difference)

차 영상만으로는 노이즈를 완벽하게 제거하고 레이저의 반사 지점을 정확히 포착하기 어렵기 때문에 펄스 위상차를 이용한다. 그림 2-5는 펄스 위상차의 원리를 설명하는 그림이다. [15] 여기서 f 는 카메라의 초점 거리를, d 는 카메라와 레이저 발사 지점과의 거리를 나타낸다. 이때 그림과 같이 카메라 두대와 레이저가

동일 평면상에 존재하고 동일 방향을 주시하고 있으며 또 레이저와 카메라 렌즈의 중심이 동일 직선위에 있고 같은 거리 d 로 위치한다. 이때 레이저 빔의 주사 각도가 전방에 대하여 θ 이며 카메라 A, B에 대하여 각각 a , b 라하면 다음과 같은 관계식을 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} d &= 1 \times \tan a - 1 \times \tan \theta \\ d &= 1 \times \tan b + 1 \times \tan \theta \end{aligned} \quad (2-1)$$

그러므로 다시 정리하면 다음과 같다.

$$2 \tan \theta = \tan a - \tan b \quad (2-2)$$

여기서 다음과 같은 관계가 있다.

$$\begin{aligned} \tan a &= (U_a - U_0)/f \\ \tan b &= (U_b - U_0)/f \end{aligned} \quad (2-3)$$

이상에서 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다.

$$(U_a - U_b) = 2f \tan \theta = f(\theta) \quad (2-4)$$

식 (2-4)에서 얻을 수 있는 결론은 두 카메라의 영상 평면에 위치한 레이저 반사 지점 간의 차는 θ 만의 함수라는 것이다. 즉 동일한 차이, $f(\theta)$ 만큼의 변위를 두고 두 카메라의 영상 평면을 비교하여 동시에 레이저가 포착되는 지점이 완전한 지점이 되는 것이다. 본 실험에서 비교하게 되는 영상은 앞에서 설명한 차 영상이다. 각각의 카메라에서 얻은 차 영상을 펄스 위상차를 이용하여 비교하여 더욱 정확한 레이저 반사지점 좌표를 구할 수 있다.

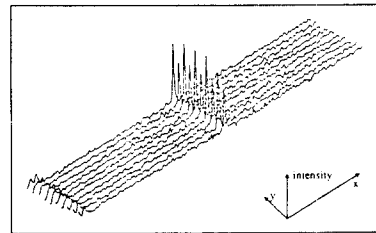


그림 2-4 그림 2-3의 (a), (b)에 대한 차 영상

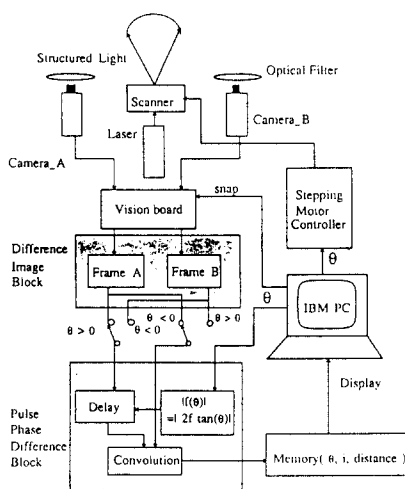


그림 2-1 전체 시스템의 구성도

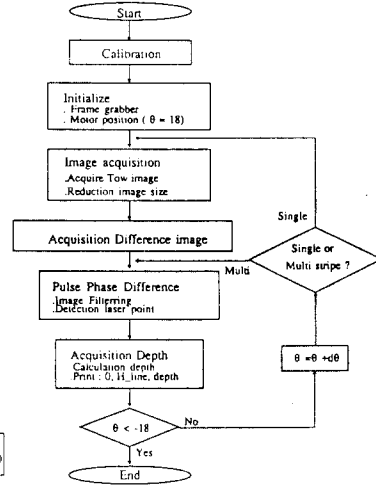
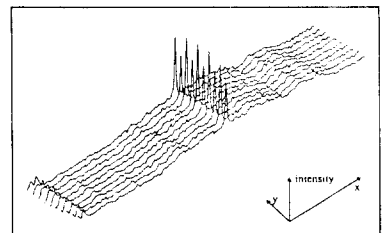
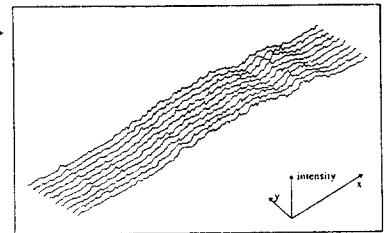


그림 2-2 전체 알고리즘



(a) 레이저가 주사된 실제 영상에 10개의 수평 방향 라인 intensity



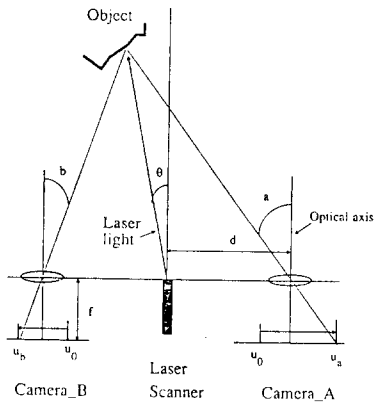
(b) 레이저가 있는 실제 영상에 10개의 수평 방향 라인 intensity

그림 2-3 스트라이프 형태의 레이저에 대한 실제예

3. 펄스 위상차의 다중 스트라이프 스트럭처드 라이트에 적용

앞에서 소개한 펄스 위상차를 이용한 방식은 레이저가 빔 (beam) 형태로 주사되었을 때 한 지점에 대한 정보를 얻는 경우이다. 그러나 스트라이프(stripe) 형태의 스트럭처드 라이트를 이용하여 한 스트라이프에 대하여 하나의 영상으로 동시에 처리함으로써 시간상으로 많은 이득이 있다. 그러나 이 경우 한 스트라이프에 대한 거리 정보를 얻어내는데 두대의 카메라 각각에서 두 화면의 영상이 최소한 필요하며 이를 얻기 위하여 많은 시간이 소요된다. CCD 카메라의 경우 한 화면의 영상을 얻는데 1/30초의 시간이 필요하므로 n개의 스트라이프의 경우 2(n+1)/30의 시간이 필요하다. 뿐만 아니라 레이저 빔을 모타를 사용하여 회전 시켜야하므로 이 또한 시간적 손실이 크다. 이러한 이유로하여 다중 스트라이프 스트럭처드 라이트 방식을 제안한다.

이는 여러개의 스트라이프를 동시에 주사함으로써 4 화면의 영상만으로 여러개의 스트라이프가 반사 되는 지점의 거리 측정을 가능하게 하고 모타 회전에 필요한 시간을 줄임으로써 전체 처리속도를 빠르게 할 수 있다. 또한 영상 메모리를 효과적으로 사용함으로써 연산시간도 절약할 수 있다. 그림 3-1은 다중 스트라이프 스트럭처드 라이트 방식을 간략하게 설명하기 위한 모델이다. 여기에는 4개의 스트라이프가 물체에 주사되었을 때 모양을 수평단면으로 나타내었고 반사 지점이 순차적으로 존재하며 그림자 효과 (shadow effect)가 없는 경우이다. P₁, P₂, P₃, P₄는 물체에 레이저 빛이 반사되는 지점이고 P_{a1}, P_{a2}, P_{a3}, P_{a4}, P_{b1}, P_{b2}, P_{b3}, P_{b4}는 각각 카메라 A, B에 포착된 지점을 나타낸다. U_a, U_b는 각각 카메라 A, B에 P₂의 포착 지점을 나타낸다. 이때 주사 각도는 θ이므로 두 지점의 펄스 위상차 delay(θ)는 식 (2-4)에 의하여 2 · f · tanθ가 된다. 그림 3-2는 그림 3-1의 경우에 레이저 반사지점을 찾기 위한 방법을 설명한 그림이다. (a)의 그림에서는 P₁지점을 찾는 경우인데 이 경우 delay(θ)의 차이를 두고 카메라 A, B의 영상 메모리에서 측정거리 범위에 의하여 결정된 영역을 순차적으로 비교해 간다. 이렇게하여 P_{a1}, P_{b1}지점의 좌표값을 찾아내고 이를 기억 시킨다. (b)의 그림은 P₂지점을 찾는 경우인데 이때는 P_{a1}과 P_{b1}의 기억된 값을 이용하여 그 사이 구간만 조사하게 된다. (c), (d)의 경우도 이와 같은 방법으로 반복된다. 그림 3-3은 다중 스트라이프 스트럭처드 라이트 방식의 전체 알고리즘을 나타낸다. 맨 먼저 카메라 A, B에서 각각 레이저가 주사된 경우와 레이저가 주사되지 않은 경우의 영상 4 화면을 얻는다. 두번째는 위에서 얻은 영상을 카메라 A, B에 대하여 각각 차영상을 구하고 이를 기억시킨다. 이때 전체 영상중에서 수평적으



f: focal length
u₀: camera reference coordinate
그림 2-5 펄스 위상차의 기하학적 관계

로 필요한 해상도에 따라 m개의 라인만 처리하게 된다. 세번째로는 펄스 위상차를 가지고 위에서 구한 영상을 비교하여 레이저 포착 지점을 찾아간다. 이때 제일 첫번째 스트라이프의 경우를 제외하고는 먼저 찾아낸 지점 사이의 메모리만 조사하여간다. 네번째는 위에서 구한 레이저 포착지점을 사용하여 거리를 계산해내고 이를 메모리에 기억 시킨다.

4. 거리 측정을 위한 산술식

4-1. 측정 좌표값에 따른 거리 계산

3 차원상에서의 거리 l은 두 카메라 렌즈 중심의 중점을 영상 좌표 (0,0)라 할때, 수평방향 화소(pixel)좌표가 i, 수직 방향 화소 좌표가 j, 카메라 렌즈의 초점거리를 f, 카메라 사이의 거리를 2d, 수평해상도를 H, 수직해상도를 V, CCD의 수평 감지 영역을 S_x, 수직 감지 영역을 S_y, 레이저의 주사 각도를 θ라 한다면 식 (4-1)과 같다.

$$l(\theta, j) = \frac{d}{\cos \left(\tan^{-1} \left(\cos \theta \cdot \frac{j \times S_y}{V} \right) \right) \cdot (\cos \theta \cdot i \cdot \frac{S_x}{H} \cdot \sin \theta)} \quad (4-1)$$

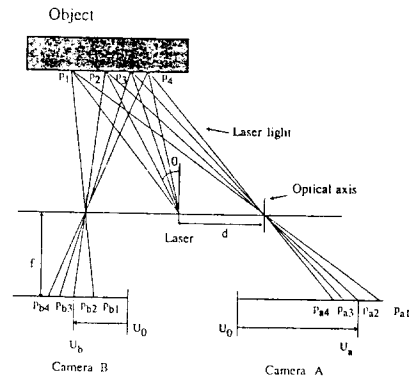


그림 3-1 다중 스트라이프 스트럭처드 라이트의 모델

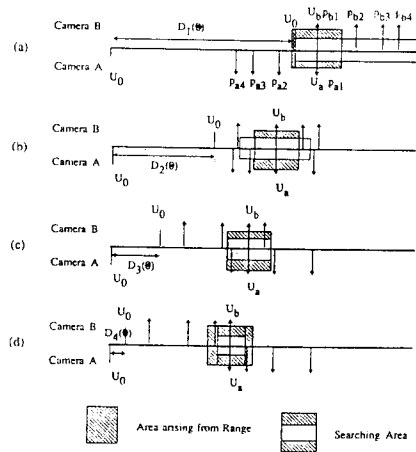


그림 3-2 그림 3-1의 메모리 상에서의 해석

4-2. 한 화소의 오차에 따른 측정거리의 오차 계산

앞에서 제시한 방법에 따라 거리를 계산할 경우 반사 지점까지 실제 거리가 1이고 감지 화소의 좌표가 (i, j) 일때 그 지점에서 수평, 수직 방향으로 각각 한 화소의 변화에 따른 거리의 측정의 오차는 식 (4-2), (4-3)과 같다. 본 실험의 경우 물체가 2 m의 거리에 있을때 θ 가 0° 라면 수평, 수직 방향 거리오차는 각각 4 cm 정도의 오차를 가지며 θ 가 18° 라면 같은 거리에 대하여 3 cm의 오차를 가진다.

$$error_i = \frac{d}{\cos(\tan^{-1}(\cos \theta \cdot \frac{j \cdot S_y}{V}))} \left(\frac{1}{\cos \theta \cdot (i+1)^{1/n_{str}} \cdot \sin \theta} - \frac{1}{\cos \theta \cdot i^{1/n_{str}} \cdot \sin \theta} \right) \quad (4-2)$$

$$error_j = \frac{d}{\cos \theta \cdot i^{1/n_{str}} \cdot \sin \theta} \left(\frac{1}{\cos(\tan^{-1}(\cos \theta \cdot \frac{j+1 \cdot S_y}{V}))} - \frac{1}{\cos(\tan^{-1}(\cos \theta \cdot \frac{j \cdot S_y}{V}))} \right) \quad (4-3)$$

4-3. 각 방식의 연산량과 처리 시간 비교

표 4-1은 단일과 다중 스트라이프 스트럭처드 라이트 방식의 계산량을 나타낸 것이다. 전체 알고리즘중 산술적 연산이 필요한 부분을 다음과 같이 크게 네 부분으로 나눌 수 있다.

- (i) 차 영상(difference image)의 획득
- (ii) 펄스 위상차 이용 과정
- (iii) 거리의 계산
- (iv) 변위(delay(θ))의 계산

이상의 과정에 대하여 레이저 스트라이프의 수가 n, 수직 방향 측정 화점수가 m, θ 에 의한 변위의 최대치가 R, 카메라 수평방향 해상도 중 실제로 영상이 포착될 수 있는 영역을 h라 할때 그 계산량을 표 4-1에 나타내었다. 표 4-2는 DSP 56000 ADS를 사용할 경우 그 연산 속도를 기준으로한 실제 총 처리 시간의 예를 나타낸 것이다. 전체 시스템에서 필요로 하는 시간은 다음 네 부분으로 다음과 같이 크게 네 부분으로 나눌 수 있다.

- (i) 차 영상(difference image)의 획득
- (ii) 펄스 위상차 이용 과정
- (iii) 거리의 계산
- (iv) 변위(delay(θ))의 계산

이상의 과정에 대하여 레이저 스트라이프의 수가 n, 수직 방향 측정 화점수가 m, θ 에 의한 변위의 최대치가 R, 카메라 수평방향 해상도 중 실제로 영상이 포착될 수 있는 영역을 h라 할때 그 계

	Single stripe	Multi stripe
Initialize hardware	0.45 sec	0.45 sec
Acquisition image	6.73 sec	0.13 sec
Computation time	0.48 sec	0.19 sec
Driving motor	3.00 sec	0 sec
Total	10.66 sec	0.77 sec

표 4-2 각 방식의 수행 시간 비교

산량을 표 4-1에 나타내었다. 표 4-2는 100×100개의 측정점을 가지고 측정거리의 범위를 1 m에서 5 m로 할때 실제 계산량을 나타낸다. 표 4-3은 DSP 56000 ADS를 사용할 경우 그 연산 속도를 기준으로한 실제 총 처리 시간의 예를 나타낸 것이다. 전체 시스템에서 필요로 하는 시간은 다음 네 부분으로 크게 나눌 수 있다.

- (i) 하드 웨어의 초기화
- (ii) 영상의 획득
- (iii) 연산 시간
- (iv) 모터의 구동

이상의 부분에 대하여 100×100개의 측정점을 가지고 측정거리의 범위를 1 m에서 5 m로 할때 총 처리 시간은 단일과 다중에 대하여 각각 10.66 sec 0.77 sec가 예상된다.

5. 실험 결과 및 분석

그림 5-1은 전체 시스템의 실제 모양이고 그림 5-2는 스캐너 부분의 사진이다.

그림 5-3은 단일 스트라이프 스트럭처드 라이트의 실험 대상이며 그림 5-4는 측정 결과를 3차원 그래프로 나타낸 것이다.

그림 5-5는 5개의 스트라이프를 갖는 스트럭처드 라이트에 대한 실험 대상의 광학 필터를 통과한 사진이다. 그림 5-6은 각각 두대의 카메라에서 포착한 영상의 차 영상이다. 그림 5-7은 그 결과를 나타낸다.

그림 5-8은 그림자 효과(shadow effect)가 있는 경우의 실험 대상을 두대의 카메라에서 각각 포착한 영상이다. 그림 5-9는 그림 5-8에 대한 차 영상을 나타내고 그림 5-10은 그결과를 나타낸다.

	difference image	pulse phase difference	calculation depth	calculation delay(θ)	total
+		2Rmn			2Rmn
-	2Rmn		2mn	n-1	2m(R+1)+n-1
*			5mn		5mn
/			4mn		4mn
if		Rmn			Rmn
substi		Rmn			Rmn
sin,cos			5mn	n	n(5m+n)

(a) single stripe structured light

	difference image	pulse phase difference	calculation depth	calculation delay(θ)	total
+		2Rm+hm			2Rm+hM
-	2hm		2mn	n-1	2m(2h+n)+n-1
*			5mn		5mn
/			4mn		4mn
if		Rm+hm			m(R+h)
substi		Rm+hm			m(R+h)
sin,cos			5mn	n	n(5m+1)

(b) multi stripe structured light

표 4-1 알고리즘에 따른 계산량 비교

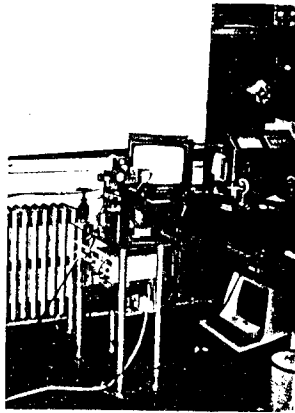


그림 5-1 전체 시스템의 모양

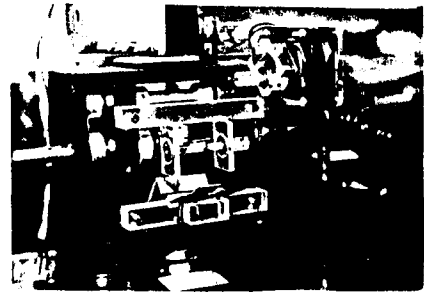


그림 5-2 스캐너 부분의 모습

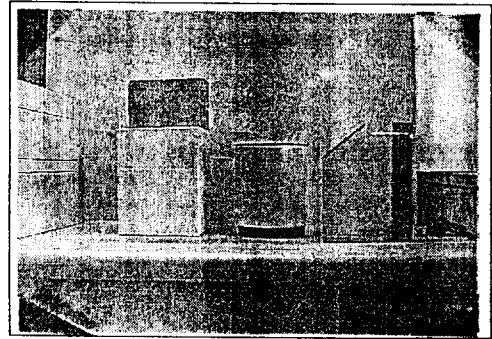


그림 5-3 단일 스트라이프 스트럭처드 라이트 방식의 실험 대상

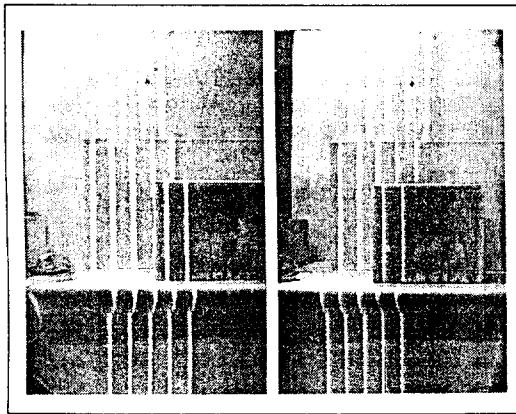


그림 5-5 5개의 스트라이프 스트럭처드 라이트 방식의 실험 대상

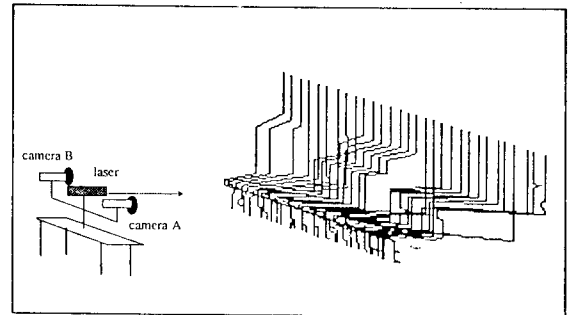


그림 5-4 그림 5-3에 대한 결과

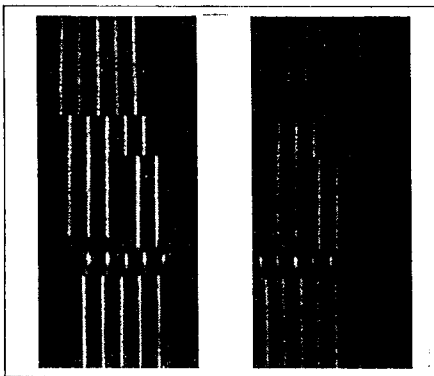


그림 5-6 그림 5-5에 대한 두 카메라의 차 영상

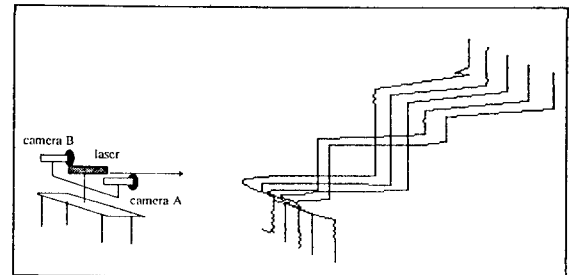


그림 5-7 그림 5-5에 대한 실험 결과

6. 결론 및 추후 과제

이동 로봇의 작업 공간이 확대되기 위해서는 햇빛 등의 광 노이즈가 많은 환경에 대한 3차원 정보를 획득할 수 있는 시각 장치가 필요하다. 본 연구에서는 펄스 위상차(pulse phase difference)와 스트럭처드 라이트(structured light)를 이용하여 어두운 환경 뿐만 아니라 직사 광선이 비치는 밝은 환경에서도 3차원 정보를 얻을 수 있는 알고리즘을 제안하고 그 시스템을 설계, 제작 및 실험 결과에 대하여 기술하였다.

사용된 실험 장비로는 632.8 nm 파장의 He-Ne 가스 레이저, CCD 카메라 두 대, IBM PC/AT, 비전 보드, 광학 필터등을 사용하였다.

두대의 카메라에서 얻은 각각의 영상과 레이저가 주사되지 않은 영상과의 차 영상을 구하여 펄스 위상차 방식에 적용함으로써 신호대 잡음비를 높여 직사 광선하의 물체에 대하여 2 mW의 레이저 강도로서 거리를 측정할 수 있었고, 다중 스트라이프 스트럭처드 라이트를 사용하여 측정 시간을 줄여 DSP 56000의 연산 속도를 기준으로 하였을 때 10,000개 지점의 3차원 정보를 얻는데 0.77초 이하의 처리 시간이 소요되는 알고리즘을 개발 하였으며 측정 거리의 범위를 1 m 에서 5 m 로 하였을 때 측정 오차의 평균이 2% 이내 이었다.

그러나 실제로 많은 수의 스트라이프 스트럭처드 라이트를 생성할 장치의 고안, DSP 56000에 의한 전체 시스템의 구성, 반도체 레이저에 의한 간소화된 스캐너의 개발등의 추후 과제를 남기고 있다.

참고 문헌

- [1] S. Hirose, T. Masui, H. Kikuchi, H. Fukada & Y. Umetani, "TITAN III: A Quadruped Vehicle ... Its Structure and Basic Characteristics...", Proc. 2nd Int. Symp. Robotics Research, Kyoto, Japan, pp. 247-253, 1984.
- [2] R. A. Jarvis, "Some observations on the human visual perception system and their relevance to computer vision research," Purdue Univ. Elec. Tech. rep. TR-EE-77-46, Nov. 1977.
- [3] R. L. Grefory, The Intelligent Eye. New York : McGraw-Hill, 1970.
- [4] J. J. Gibson, The Senses Considered as Perceptual Systems. Boston, MA : Houghton-Mifflin, 1966.
- [5] R. A. Jarvis, "A perspective on range finding techniques for computer vision," IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell., vol. PAMI-5, no. 2, pp. 122-139, Mar. 1983.
- [6] C. N. Shen & C. S. Kim, "A Laser Rangefinder Path Selecton System for Martian Rover Using Logarithmic Scanning Scheme", Proc. IFAC Symp. Automatic Control in Space, Oxford, U. K., 1979.
- [7] M. Hebert & T. Kanade, "First Results on Outdoor Scene Analysis Using Range Data", Proc. Image Understanding Workshop, pp. 224-231, 1985.
- [8] Y. Shirai, "Recognition of Polyhedrons with a Range Finder," Pattern Recog., vol. 4, pp. 243-250, 1972.
- [9] R. J. Poppleston, C. M. Brown, A. P. Ambler, and G. F. Crawford, "Forming Model of Plane and Cylinder Faceted Bodies from Light Stripes," Proc. int. Joint Conf. Atifitial Intell., pp. 629-673, 1975.

- [10] F. Rocker and A. Kiessling, "Methods of Analysing Three Dimensional Scenes," proc. 4th, Int. Joint Conf. Artificial Intell., pp. 669-673, 1975.
- [11] M. Oshima, and Y. Shirai, "Object Recognition using Three Dimensional Information," IEEE trans. PAMI, pp. 353-361, 1983.
- [12] Y. F. Wang, A. Mitiche, and J. K. Aggarwal, "Computation of Surface Orientation and Structure of Objects using Grid Coding," IEEE trans. PAMI, pp. 129-137, Jan. 1987.
- [13] K. L. Boyer, and A. C. Kak, "Color Encoded Structured Light for Rapid Active Ranging," IEEE trans. PAMI, pp. 14-28, Jan. 1987.
- [14] 이 석준, "Structured Light를 이용한 이동 로봇의 3차원 환경인식에 관한 연구," KAIST 석사 학위 논문, 1989.
- [15] Kazuhiro Yoshida, and Shigeo Hirose, "Laser Triangulation Range Finder Available under Direct Sunlight," IEEE CONFERENCEONDECISION&COCTROL, pp.1702-1708, 1988.
- [16] K. S. Fu, R. C. Gonzalez, and C. S. G. Lee, Robotics : Control, Sensing, Vision, and Intelligence, McGraw-Hill, 1987.

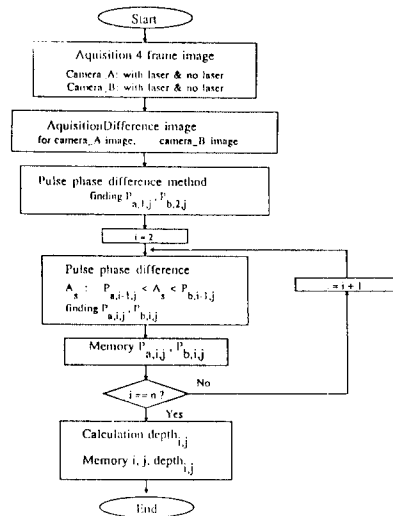


그림 3-3 전체 알고리즘