

양안 시차를 이용한 거리 측정의 고속 연산 알고리즘

김 재 한

호남대학교 전자공학과

An efficient range measurement method using stereoscopic disparity

Jae-Han Kim

Department of Electronic Engineering, Honam University

e-mail : kjh@honam.ac.kr

요 약

원거리에서 무접촉 거리 측정(ranging)은 군용 장비나 건설, 항해, 자동화 등에 매우 중요하다. 측정 방식은 active와 passive 방식으로 구분되는데, active 방식은 laser나 microwave, 초음파 등의 time of flight를 이용하거나 레이저 조사(illumination)에 대한 카메라 영상을 해석하는 등의 다양한 방식이 있으나 장치가 복잡하고, passive 방식은 stereo camera의 양안 영상을 이용하거나 focus 특성을 이용하는 방식 등이 있으나 대부분 연산 시간이 많이 요구된다.

본 연구에서는 수동식 스테레오 카메라에서 양안시차를 추출하여 triangulation으로 목표점(target point)의 거리를 측정하는 것을 기본 방식으로 하여, 기존 거리 산출 방식에서 연산 시간이 많이 소요되는 연산 과정을 효율적이고 고속으로 수행할 수 있도록 새로운 방식을 제안하였다.

즉, 목표점에서의 양안 edge 영상을 구하며, 이 영상의 accumulation profile을 correlation하여, 거리 연산의 핵심 요소인 양안 시차를 고속으로 추출하는 알고리즘을 제안하였다. 또한, 제안 방식의 효율성을 실험 결과를 통하여 보였다.

Keyword

Stereoscopic camera, disparity, range measurement, edge

1. 서 론

직접적인 접촉(non-contact)이 없이 목표물까지의 거리를 측정(ranging)하는 원격 측정 기술은 군사용 응용이나 항해 및 지상 주행 응용, 공장 자동화 분야, 건설 분야 등에 매우 활용성이 많다. 이러한 거리 측정 방식은 능동형(active)과 수동형(passive) 측정 방식으로 구분된다[1]. 능동형 방식은 laser나 microwave, 초음파 등을 이용하여 물체 표면을 반사하여 되돌아 오는 반사파의 시간을 측정하고 반사파의 전파 속도를 기준으로 환산하여 거리를 계산하는 time of flight 이용 방식이 있고, 또 다른 응용된 방식으로는 레이저를 목표물에 조사(illumination)하고 이 레이저와 다른 각도에서 얻은 카메라 영상을 가지고 기준선에 대한 레이저의 각도와 카메라의 주시 각도를

삼각법으로 해석하여 거리를 연산해 내는 응시각 해석 기반의 삼각법(triangulation) 방식이 있다 [2][3]. 이외에도 Moire나 홀로그래픽 간섭을 이용하는 방법들이 있다.

수동형 방식은 stereoscopic camera의 양안 영상을 이용하거나 초점(focus) 특성을 이용하는 방식 등이 있다. 양안 영상을 이용하는 방식은 능동형의 삼각법과 원리는 동일하나 능동형 조사 광원 대신에 수동형의 카메라를 이용하므로써 두 각도에서 바라보는 응시각과 이 두 카메라의 거리를 삼각법에 적용하여 거리를 구하게 된다. 초점을 이용하는 방법은 렌즈를 이용하여 얻어지는 영상에서 초점이 잘 맞아 물체의 외곽선인 edge가 선명되는 거리는 렌즈들의 특성에 따라 결정되므로, 역으로 렌즈들의 특성을 미리 파악한 후에 목표물을 초점이 맞아 선명하도록 조정된 후, 이때의

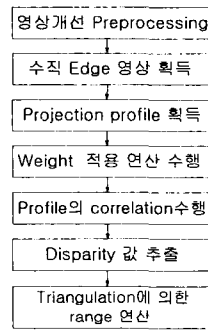
렌즈의 특성과 위치에 따라 목표물까지의 거리를 구하게 되는 것이다.

본 연구에서는 거리 연산의 기본 방법으로 수동형 스테레오 카메라에서 얻어지는 양안 영상으로부터 양안시차를 추출하여 삼각법으로 목표점(target point)의 거리를 측정하는 방식을 사용한다. 이때, 기존 방식은 양안 영상에서 일치 부분을 찾고 이러한 일치부분에 대한 양안 시차를 찾는 데 많은 연산 시간이 많이 소요된다[4].

이를 위하여, matching 연산 과정을 고속으로 효율적으로 수행할 수 있는 효율적인 방안을 제시한다.

II. 제안된 양안시차 추출 방법

본 연구에서는 입체 카메라 구성을 가장 간단한 형태인 평행식 Stereoscopic Camera 구조로 하였다. 양안 영상에 대한 고속의 양안시차 추출을 위하여, 계측을 원하는 목표물의 edge 영상에 대하여 수직 accumulation profile을 구하고 중심 목표 물체에 대하여 가중치를 부여하기 위하여 Gaussian 분포 함수의 곱셈 operation을 한다. 여기서 edge영상은 초점이 맞는 거리의 영상이다. 따라서 이 점이 목표 지점의 거리를 구하는데 있어서 edge영상을 사용하는 근거가 된다.



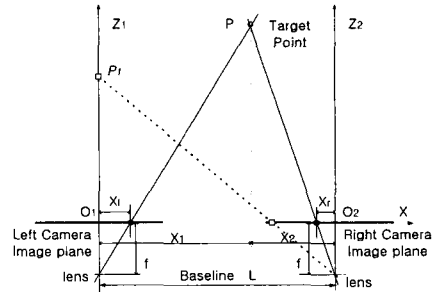
[그림 1] 제안 알고리즘의 처리 흐름도

그 후, 좌측 및 영상의 profile에 대하여 한 pixel 씩 위치를 이동하며 correlation을 한다. 이 결과 correlation의 최대값이 나오는 이동 위치의 pixel 위치값을 구하면 이 값이 연고자 하는 양안 시차가 된다.

이 제안된 알고리즘은, 기존의 pixel 기반 또는 object기반의 matching 방식과 달리 목표 물체의 edge를 이용한 matching이므로 상대적으로 연산 속도가 빠른 효율성을 갖는다.

그림 2 에서 보인 바와 같이 P는 3차원상의 목표 지점이며 두 image plane간의 거리를 baseline distance L이라 한다. 카메라를 pinhole 모델로 하고 f는 이 모델의 effective focal length이다. Z2와 X축과의 교점을 우측 카메라의 원점인 O2

로 하면, 우측 image plane으로 P점이 projection 되는 점에서 우측 카메라의 원점까지의 거리는 X_r 이 된다. 마찬가지로 Z1과 X축과의 교점을 좌측 카메라의 원점인 O1로 하면, 좌측 image plane으로 P점이 projection되는 점과 좌측 카메라의 원점까지의 거리는 X_l 이 된다.



[그림 2] Stereoscopic 카메라의 Geometry

baseline L과 disparity d는 다음과 같다.

$$L = X_2 - X_1 \quad (1)$$

$$d = X_l - X_r \quad (2)$$

목표점 P가 두 개의 image plane의 원점과 baseline이 같은 평면위에 있다고 하는 경우에 거리 z는 다음과 같다.

$$\frac{X_l}{f} = \frac{X_l}{z+f} \quad (3)$$

$$\frac{-X_r}{f} = \frac{X_2}{z+f} \quad (4)$$

$$X_2 = L - X_1 \quad (5)$$

여기서 X_1 과 X_2 를 소거하면

$$z = \frac{-f(X_l - X_r - L)}{(X_l - X_r)} \quad (6)$$

$$z = \frac{f(L-d)}{d} \quad (7)$$

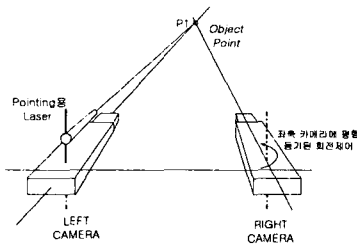
III. 시스템 구성 및 거리 연산

시스템의 구성은 두 대의 양안식 카메라와 영상 획득장치 및 처리 장치로 구성 된다.

그림 2에서 P1점이 목표점이 되도록 좌측 카메라 영상은 정면으로 지향하고 우측 카메라는 수평 중심선에 목표점이 오도록 제어한다. 중심선에 목표점이 오도록 하는 이유는 keystone diatortion이 최소가 되도록 하는 것이다.

또한, 이러한 geometry는 우측 카메라 영상에서, 영상 원점으로부터 물체점까지의 disparity를 산출하는 것이 되므로 거리 계산이 편리하게 된다.

시스템의 동작은 기준이 되는 좌측 카메라의 목표점의 지향과 아울러 우측 카메라도 좌측 카메라와 동기되어 지향 방향이 평행하도록 연속 제어된다. 이 때, 거리 획득 명령에 따라 영상 획득 작업이 연이어 수행된다. 목표 물체의 표면이 충분한 윤곽선(edge)을 갖지 않는 형태인 경우에는 좌측 카메라의 영상중심인 원점 위치에 레이저 pointer를 이용한 짧은 duration을 갖는 단일 pulse 형태의 laser를 조사(illumination)하여 한 점을 지정하며 레이저 펄스 신호와 동기하여 좌우측 영상을 동시에 획득하도록 시스템을 구성한다. 윤곽선이 충분한 영상에서는 레이저 pointing이 생략될 수 있다.



[그림 3] Stereoscopic 카메라 시스템 구성도

거리 연산 작업은 좌측 카메라 영상과 우측 카메라 영상을 비교하여 disparity를 산출하므로써 이루어진다.

이를 위하여 우선적으로 수평 변화 검출용 mask를 이용하여 수직 edge 영상을 획득한다. 우리 눈이 좌우 방향으로 물체의 이격 상태를 산정할 때 수직 edge를 이용하듯이, 여기에서도 수직 edge로 disparity를 찾는다. 획득된 수직 edge 영상에 대하여 수평 방향 변이를 찾기 위하여 직접 비교 대신에 수직 방향으로 edge 성분을 accumulation하여 축적된 profile을 구하고 이를 비교하는 방법을 도입하였다. 또한 목표점은 중심에 위치하도록 카메라를 지향하였으므로 영상 중심부에 대하여 가중치를 부여하였다. 즉 아래 식 (8)과 같은 Gaussian density function을 좌우 영상의 profile에 곱셈 operation을 한다.

$$f(X) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp \left\{ -\frac{(X-m)^2}{2\sigma^2} \right\} \quad (8)$$

여기서 m은 영상의 가로 pixel수의 1/2이며, σ^2 는 variance로서 목표 영역의 국소화 정도를 나타내고, 또한 disparity 산출의 정확도와 반비례 관계를 가지므로 최적 변수값의 산출과 선정이 요구된다.

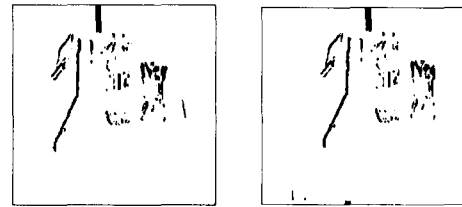
이러한 연산은 전체 edge를 이용하며 동시에 목표점의 disparity를 정확하게 추출하는데 목적이 있다.

IV. 실험

좌우 영상으로 부터 각각의 수직 edge 영상을 구하기 위하여, 우선 잡음 제거용 preprocessing으로 Gaussian filtering mask를 이용하여 잡음을 제거한다. 이후, Sobel mask과 같은 수직 edge 강조 mask를 이용하여 좌우 edge 영상을 얻었다.

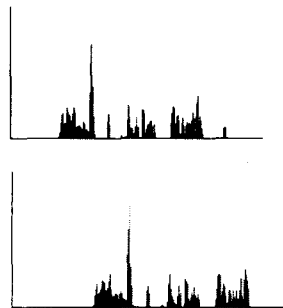


[그림 4] preprocessing된 좌우 카메라 원 영상



[그림 5] 좌우 수직 edge 영상

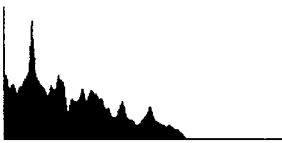
좌우 카메라 영상으로부터 추출된 각 수직 edge 영상으로부터 수직 방향의 disparity를 구하기 위해서는 수직 edge를 수직 방향으로 accumulation을 하여 projection 된 것과 같은 형태의 좌우 각 영상의 edge accumulation profile을 얻었다.



[그림 6] 수직 edge accumulation (좌,우 결과)

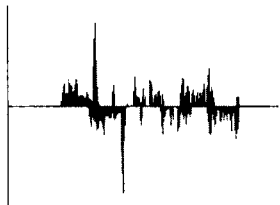
[그림 6]과 같은 얻어진 edge accumulation의

profile에 대하여, 목표점 부근에 가중치를 주기 위하여 식(8)과 같은 Gaussian density function 함수를 적용하였다. 이러한 좌우 영상의 weighted profile들에 대하여 두 영상의 이격 간격인 disparity를 구하기 위하여, 좌측 영상의 profile을 기준으로 우측 영상의 profile을 한 pixel씩 이동해 가며 correlation을 하여 [그림 7]과 같은 결과를 얻는다. 이때, 최대점이 산출된 지점에서의 이동된 pixel 값이 disparity가 된다.

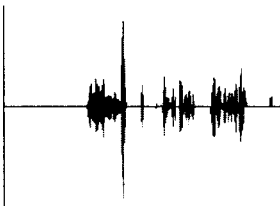


[그림 7] accumulation profile의 correlation

아래 [그림 8]은 좌우 profile을 겹쳐 비교해 놓은 것이고 [그림 9]는 [그림 7]에서 획득된 disparity 만큼 좌측 profile을 이동 시킨 후, 겹쳐 그린 것으로 disparity 산출이 정확함을 보이고 있다.



[그림 8] 좌우 영상 profile의 비교 도식



[그림 9] disparity를 보상 후, 비교 도식

여기서 얻어진 disparity 값 d 와 두 카메라의 간격 L 과, 초점거리 f 를 앞에서 유도한 식 (7)에 대입하여 카메라 baseline으로부터 목표점까지의 거리 z 를 구한다. 예로서, baseline distance L 이 65[mm]이고 초점거리 f 는 16[mm]인 거리 측정 시스템에서, 산출

된 disparity가 26 pixels인 경우에, 실험에 사용된 카메라(Pulnix TMC-7N)의 1 pixel 간격이 0.0082 [mm]이므로, 실제 pixels의 간격은 0.214[mm] 이 된다. 그러므로, 거리는 다음과 같이 산출된다.

$$z = \frac{f(L-d)}{d} = \frac{16(65-0.214)}{0.214} \quad (9)$$

따라서, 구하려는 거리 $z = 4,844$ [mm]이 된다.

V. 결 론

본 연구에서는 직접적인 접촉 없이 목표 지점까지의 거리를 측정(ranging)하기 위한 시스템에서, 효율적인 거리 산출 알고리즘을 제안하고, 그 시스템의 동작 방법과 거리 산출의 예를 기술하고 분석하였다.

양안 카메라 구성은 가장 간단한 형태인 평행식 Stereoscopic Camera 구조로 하였다. 양안 영상에 대한 고속의 양안시차 추출을 위하여, 잡음 제거 preprocessing을 행한 후, 측정을 원하는 목표점을 포함하는 좌우 영상에 대하여 수직 edge영상을 구하였다.

이 수직 edge 영상에 대하여 좌우 방향의 이격 거리의 matching 비교를 빠르게 하기 위하여, 수직 방향으로 edge 성분의 크기를 accumulation하여 좌우 축 방향으로 edge 분포에 대한 profile을 구하였다. 중심 목표점에 대하여 중요도 가중치를 부여하기 위하여 Gaussian 밀도 분포함수의 곱 연산을 수행하였으며, 이 결과를 correlation을 취하여 최종적으로 disparity를 구하여, 거리를 산출하는 새로운 방법을 제안하였다.

제안 방식에 대한 실험 결과를 분석해 보면, 정확한 disparity의 산출이 이루어짐을 알 수 있으며, matching에 이용되는 데이터가 기존 방식에 비하여 절반 이하로 감소되므로, 총 계산 속도는 기존의 searching 방법에 비하여 2배 이상 빠른 것으로 분석된다.

참고문헌

- [1] P. J. Besl, " Range Imaging Sensor", Research publication GMR-6090, General Motors Research Laboratories, March 1987
- [2] Denis Poussart and Denis Laurendeau, "3-D Sensing for industrial computer vision", Advanced in machine vision, 1988
- [3] Krotkov, "Active Computer vision by cooperative focus and stereo", Springer-Verlag, 1989
- [4] David Coombs and Christopher Brown, " Real-time binocular smooth pursuit", Int. of Jour. of Computer Vision, No.2 pp.147-164, 1993