

스테레오 카메라를 이용한 실내 환경의 3차원 복원에 관한 연구

A Study of the 3D-Reconstruction of indoor using Stereo Camera System

이동현, 엄대연, 강 훈

Dong-Hun Lee, Dae-Youn Um, Hoon Kang

중앙대학교 대학원 전자전기공학부

요 약

본 논문은 스테레오 카메라를 사용하여 실내 환경의 3차원 복원하는 방법에 대하여 말하고 있다. 일반적으로 3차원 데이터를 추출하는 방법에는 3가지가 있는데, 초음파 센서를 사용하는 방법, 레이저 센서를 사용하는 방법, 그리고 스테레오 카메라를 사용하는 방법을 들 수 있다. 이중 스테레오 카메라는 적당한 가격으로 높은 성능을 낼 수 있는 방법이다. 본 논문에서는 스테레오 카메라를 사용하여 3차원 데이터를 추출하는 방법으로 Window Correlation Matching Method를 사용하였다. 스테레오 카메라를 사용하여 3차원 데이터를 추출할 때 가장 큰 문제인 정확하지 않은 데이터들에 대한 처리를 하기 위하여 Histogram Weighted Hough Transform이라는 방법을 제시하였다. 이렇게 하여 각 Step에 추출된 데이터에서 오차를 많이 줄일 수 있었기 때문에 복원이 더욱 잘 되도록 만들 수 있었으며, 3차원 복원에 DirectX를 사용하여 보다 현실감이 있도록 하였다. 본 논문은 기존에는 3차원 복원보다는 3차원 데이터추출에 집중되었던 스테레오 카메라를 3차원 복원에 사용할 수 있다는 것을 보여주었으며, 오차를 줄이기 위해 새로운 알고리즘을 적용하려고 노력하였다.

Abstract

In this paper, we address the 3D reconstruction of the indoor circumstance using what the data is extracted by a pair of image from Stereo Camera. Generally speaking, there are three methods to extract 3-Dimensional data using IR sensor, Laser sensor and Stereo camera sensor. The best is stereo camera sensor which can show a high performance at a reasonable price.

We used "Window Correlation Matching Method" to extract 3-Dimensional data in stereo image. We proposed new Method to reduce error data, said "Histogram Weighted Hough Transform". Owing to this method, we reduced error data in each stereo image. So reconstruction is well done. 3-Dimensional Reconstruction is accomplished by using the DirectX that is well known as 3D-Game development tool.

We show that the stereo camera can be not only used to extract 3-dimensional data but also applied to reconstruct the 3-Dimensional circumstance. And we try to reduce the error data using various method.

Key words : 스테레오 카메라, Correlation, Histogram, Hough Transform, 3차원 복원

1. 서 론

기술의 발전으로 3차원 그래픽 기술이 발전된 상황에서 사람들은 가상현실이라는 3차원으로 보이는 것에 많은 관심을 가지게 되었다. 게임에서 어떤 공간 속을 돌아다니는 것과 같이 우리 주변의 환경을 3차원으로 모델링하면 여러 가지로 활용할 수 있을 것이다. 위에서 언급한 로봇의 자율주행은 물론이요, 가보지 않은 장소에 대해서 미리 자기가 가보는 것과 같은 시뮬레이션으로 길을 찾는 지도, 시각장애인을 안내해주는 로봇 등의 여러 가지 활용방안이 있다. 하지만, 지금까지 이런 모델링은 사람이 보고 측정을 해서 3차원

모델을 만들지 않으면 힘들었고, 실경 모델링을 한다고 해도, 많은 시간을 빼앗기는 작업들을 해야만 했다. 본 논문은 이러한 3차원 모델링을 쉽게 하기 위해서 스테레오카메라를 사용하여 영상으로부터 3차원 데이터를 추출하고, 추출된 데이터를 처리하여 DirectX를 기반으로 3차원 복원을 하는데 중점을 두고 있다.

2. 시스템의 전체 구성

카메라 시스템을 통한 영상처리 텍스처 저장 및 이동 데이터 사용 3D Data 보정, DirectX를 이용한 3차원 복원은 모두 노트북 컴퓨터에서 처리되고, 이동 시스템은 두 개의 모터를 부착하고 MCU 80196을 사용하여 특성이 다른 모터를 원하는 위치까지 이동시키기 위한 제어 프로그래밍이 되어있고, 모터에 부착된 Encoder로부터 값을 읽고 계산해서 이동된 거리 정보를 노트북 컴퓨터에 RS232통신 방식을 사

접수일자 : 2004년 12월 5일

완료일자 : 2005년 1월 28일

감사의 글 : 본 연구는 과학기술부 인간기능 생활지원 지능로봇 기술개발 사업(과제번호 2003-0680-100)지원으로 수행되었습니다.

용하여 전송하게 되어있다.

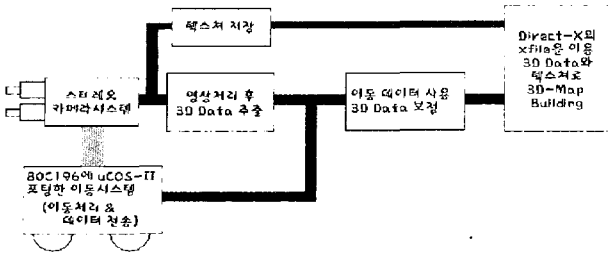


Fig. 1. 스테레오카메라 시스템 블록 다이어그램

3. 이미지 전처리

3.1 컬러이미지를 흑백이미지로 변환

컬러이미지는 일반적으로 RGB, HSI, YUV 등의 컬러모델을 사용하고 보통 데이터는 한픽셀에 24bit로 이루어져있다. 만일 640×480의 이미지를 사용하게 된다면 데이터는 640×480×24bit가 되기 때문에 상당히 많은 양이다. 이것을 조금 더 빠르게 처리하기 위하여 흑백이미지로 변환을 한다. 컬러이미지를 흑백이미지로 바꾸는 수식은 여러 가지가 있는데, 본 논문에서는 다음과 같은 수식을 사용하였다.

$$Gray = \frac{R+G+B}{3} \quad (3-1)$$

위의 수식을 사용하여 흑백이미지로 변환을 하게 되면, 컬러이미지 때보다 정보의 손실이 일어나는 것은 감수해야 하지만, 꼭 우리가 필요로 Edge를 검출할 때에 보다 빠른 처리 속도를 나오도록 하기 위해서 이러한 변환을 실행해야만 했다.

3.2 Edge 검출

일반적으로 Edge를 검출하는 방법은 Canny filter, Sobel filter, Roberts filter, Laplace filter, Prewitt operator 등등 여러 가지가 있다. 본 논문에서는 다음과 같은 operator를 가지는 Sobel filter를 사용하였다.

$$h_1 = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{pmatrix}, \quad h_2 = \begin{pmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

이렇게 Sobel filter를 사용한 이유는 현재 시스템이 동작하는 환경에 가장 적합하기 때문이다. 실내 환경의 경우를 보면, 벽과 바닥, 물체 등이 대부분은 차지하는데, 그러한 것들이 가로 직선과 세로 직선으로 많이 이루어져있다는 것을 알 수 있다.

4. 3차원 데이터 추출방법

여러 가지 방법 중에 Window Correlation에 의한 Matching Method를 사용하였다. 이는 간단하면서도 좋은 결과를 얻을 수 있는 방법이다.

4.1 스테레오카메라 시스템 overview

스테레오 카메라 시스템을 이용하여 어떤 위치의 3차원 정보를 찾아내는 방법은 기본적으로 왼쪽, 오른쪽 이미지를

얻은 것에 픽셀의 위치차를 이용하는 것이다. 이것에 여러 가지 외부적인 요소인 두 카메라의 떨어진 거리, Focal Length등을 가지고 연산을 하여 3차원 데이터를 추출하게 된다. 이것을 그림으로 설명하면 Fig 2을 살펴보자.

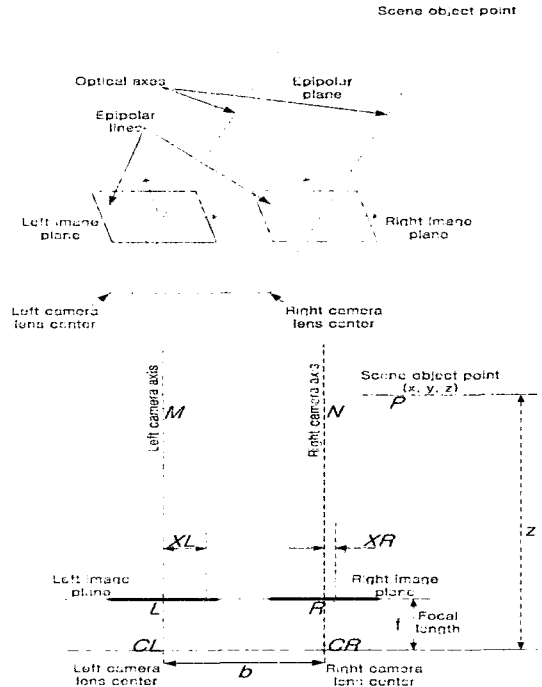


Fig. 2. 3차원 데이터 추출 원리

가장 먼저 카메라는 두 대가 같은 카메라를 사용해야한다. 만일 다른 카메라를 사용할 경우에 카메라마다의 특성에 의해 이미지의 컬러 값이 다를 뿐만 아니라, Focal Length등이 다르게 되어서 이를 보정하기 위해서 다른 알고리즘들을 써야만 하기 때문이다. 다음으로 카메라를 설치할 때 두 카메라의 Epipolar Line이 일치하도록 세팅을 해주어야만 한다. Epipolar Line이 일치하지 않게 되면, 그것을 보정해 주기 위한 계산식이 많이 들어가서 시스템의 속도가 많이 느려질 수 있기 때문이다.

이제 실제 3차원 데이터를 추출하는 방법을 알아보면, Fig 2을 보면 실제 공간상의 한 점 P가 존재하고, 왼쪽 카메라와 오른쪽 카메라에서는 이 P점이 이미지 상의 한 점으로 표현되고 있다. XL, XR은 P라는 점이 두 카메라의 이미지에 표현된 점의 X축 좌표를 의미하며, b는 두 카메라의 떨어진 거리, f는 Focal Length를 의미한다. 이를 가지고 삼각형의 닮음에 의한 비례식을 풀어서 실제 공간상의 한 점 P와 카메라 사이의 거리인 z값을 하면 아래와 같은 수식이다.

$$z = \frac{\text{Camera Distance}(b) \times \text{Focal Length}(f)}{|XL - XR|} \quad (4-1)$$

z값을 찾아내게 되면, x값과 y값은 z값과 Focal Length, 이미지 상의 x, y값을 이용하여 삼각법을 이용하여 쉽게 계산할 수 있다.

4.2 스테레오 카메라 사용의 두 가지 중요 문제

첫 번째는 왼쪽에 보이는 이미지와 오른쪽에 보이는 이미지의 Correspondence에 있다. 두 번째 문제점은 Reconstruction문제이다. 첫 번째 문제에서 Correspondence가 있

는 부분들만을 추출했을 때 추출된 부분을 가지고, 어떻게 3차원으로 Reconstruction 하겠는가를 말하는 것이다.

4.2.1 상응도(Correspondence) 문제

왼쪽, 오른쪽 이미지로부터 Correspondence를 찾기 위해서 다음과 같은 두 가지 가정을 한다.

- 가정1 : 대부분의 모든 점들은 왼쪽, 오른쪽 이미지에서 모두 발견할 수 있다.
- 가정2 : 상응되는 이미지 영역은 매우 유사하다.

이 두 가지 가정은 위에서 말한 첫 번째 문제를 간단하게 하기 위한 것인데, 실제로는 어느 한쪽에서만 발견되고, 다른 쪽에서는 발견되지 않는 점은 두 가지 방법으로 제거하고, Disparity Map을 찾는다. 한 가지 방법은 상응도를 계산하여 상응도가 얼마이하로 떨어지게 되면, 그 점의 Disparity (XL-XR)을 무시하고 그 점에서 데이터는 에러 즉 데이터가 추출되지 않았다는 결과를 보낸다. 두 번째 방법은 왼쪽 이미지를 기준으로 오른쪽 이미지에 Correlation을 취하고, 다시 오른쪽 이미지를 왼쪽 이미지에 Correlation 취했을 때 같은 값이 나오는지 확인하여 다른 값이 나오면 그 데이터 역시 잘못된 데이터일 가능성이 많으므로 결과에 기록하지 않고 데이터 추출이 되지 않았으므로 표시한다.

4.2.2 Correlation 기반 Matching Method

기본적인 Correlation 기반 Matching Method에 대해서 알아보도록 하면 한쪽 이미지의 일정한 영역에 고정된 Window를 씌운 다음 다른 쪽 이미지의 같은 좌표에 윈도우 크기의 두 배만큼의 영역에 대해 Correlation을 취하면서 움직이게 되는데 이때 상응도가 가장 높은 때의 윈도우의 이동 정도를 찾는 것이다. Fig 3을 보면, 왼쪽의 이미지에 까만 점은 실제 오른쪽의 이미지에 까만 부분에 해당한다. 이것을 찾기 위해서 왼쪽 이미지에서 찾은 윈도우의 중심좌표(i, j)에 해당하는 오른쪽 이미지의 (i, j)좌표를 기준으로 상하좌우로 윈도우를 윈도우 사이즈인 W만큼 이동시키면서 상응도가 가장 높은 곳을 찾으면 오른쪽 이미지의 까만 점을 찾게 되는 것이다.

이러한 알고리즘을 정리하면 다음과 같다. 스테레오 이미지 쌍은 왼쪽 이미지를 I_l 로 오른쪽 이미지는 I_r 로 나타낸다. 왼쪽, 오른쪽 이미지의 픽셀 값은 각각 P_l, P_r 로 표현한다. 윈도우의 폭은 $(2W+1)$ 이다. P_l 에 대한 오른쪽 이미지의 탐색 영역은 $R(P_l)$ 로 표현한다. $\Psi(u,v)$ 는 u, v 라는 두 픽셀 값에 대한 함수이다.



Fig. 3. Correlation 기반 Matching Method

왼쪽 이미지의 각 픽셀 $P_l=[i, j]T$ 에 대하여

1. 다음 수식을 사용하여 각각의 Displacement $D=[d_1, d_2]T \in R(P_l)$ 을 계산한다.

$$c(D) = \sum_{k=-W}^W \sum_{l=-W}^W \Psi(I_l(i+k, j+l), I_r(i+k-d_1, j+l-d_2)) \tag{4-2}$$

2. P_l 의 Disparity는 $R(P_l)$ 에 대해서 가장 큰 $C(D)$ 를 찾아서 그때의 $D_m=(d_1^m, d_2^m)$ 으로부터 찾아낸다.

$$D^m = \arg \max_{D \in R} c(D) \tag{4-3}$$

결과는 II의 각 픽셀마다 하나의 Disparity들이 나오게 되고, 전체 이미지에 대한 Disparity들의 배열이 나오게 된다. 이러한 Disparity들의 배열을 Disparity Map이라고 한다. (4-2)에 정의되어진 $\Psi(u,v)$ 라는 함수는 다음과 같이 두 가지 형태로 정의가 될 수 있다. 첫 번째는 왼쪽 이미지의 윈도우 영역과 오른쪽 이미지의 탐색 영역의 cross-correlation 관계에 의해서 만들어진 수식으로

$$\Psi(u,v) = uv \tag{4-4}$$

의 형태를 가진다. 두 번째는 SSD(sum of squared differences) 또는 block matching이라고 불리며

$$\Psi(u,v) = -(u-v)^2 \tag{4-5}$$

의 형태를 가진다. 본 논문에서는 두 번째 수식을 사용하였으며, 연산량을 줄이기 위하여 윈도우를 상하좌우로 이동을 하면서 구하는 상관관계를 왼쪽, 오른쪽 카메라를 초기에 정확하게 설치하여 상하는 정확하게 맞도록 만들어서 좌우로만 상관관계를 찾으면 되도록 설계하였다. 단순화된 correlation 기반 match 기법은 다음 그림과 같다.

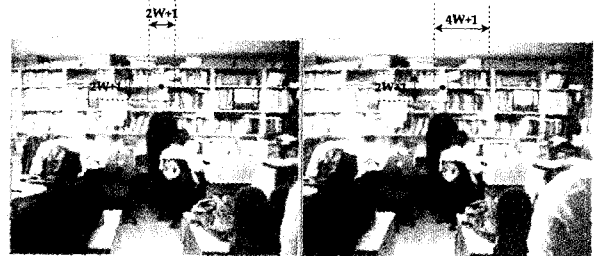


Fig 4. 단순화된 Correlation 기반 Matching Method

이렇게 설정이 된 시스템에서는 eq 4-2가 다음과 같이 간단해진다.

$$c(D) = \sum_{k=-W}^W \sum_{l=-W}^W \Psi(I_l(i+k, j+l), I_r(i+k-d, j+l)) \tag{4-6}$$

4.2.3 Reconstruction을 위한 3차원 데이터 추출

3차원 복원을 하기 위하여 앞 절의 알고리즘을 사용하여 추출한 Disparity Map을 보면, 다음과 같다.

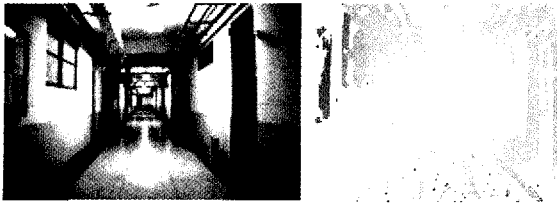


Fig. 5. (좌) 원본이미지 (우) Disparity Map

위의 그림을 보면 흑백이미지의 픽셀 값으로 Disparity의 정도를 표현하여 카메라와 떨어진 거리에 따라 명암의 차이를 보이게 된다. 데이터들이 추출된 것을 보면 많은 데이터들이 추출이 되었지만 까맣게 보이는 부분은 데이터가 추출되지 않은 부분을 의미한다. Disparity Map을 만드는 과정에서 Correlation Matching Method를 사용할 때 이미지상에 어떤 특징들이 있어야 상관관계를 논할 수가 있다. 하지만, Disparity Map에 하얗게 나온 부분을 원본 이미지에서 살펴보면 동일한 색의 이미지로 특징을 찾을 수 없는 부분에서 그렇게 나온 것을 알 수 있다. 그리고, 이 추출된 점들만을 3차원으로 복원을 하게 되면 다음과 같은 결과가 나온다.



Fig. 6. Disparity Map으로부터 추출된 점만을 3차원 복원한 그림



Fig. 7. 원본이미지의 Edge이미지(Sobel filter)

결과를 보면 추출된 데이터들의 양이 너무 방대하기 때문에 우리가 정말 복원에 필요로 하는 데이터가 어떤 것인지 구분하기 힘들다. 그래서, 복원에 필요하지 않은 데이터는 일부 없애고, 필요한 데이터만을 추출해 내는 방법으로 Edge Mask를 사용하였다. 본 논문에서 사용한 Edge Mask는 Sobel filter로 원본이미지에서 Edge Mask를 취한 결과는 위와 같다. 이렇게 구해진 Edge Mask를 가지고, 추출된 Disparity Map에 Masking을 취해서 데이터의 양을 줄인 것을 보면 다음과 같다.

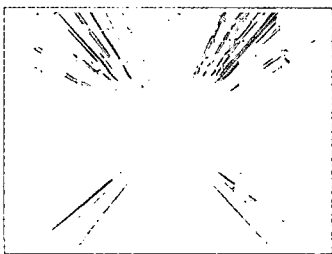


Fig. 8. Disparity Map에 Edge 검출된 결과로 Masking을 취한 결과

위의 그림을 보면 Edge Mask를 취하기 전보다 취한 후에 데이터의 양이 현저하게 줄어들고, 모서리에서의 데이터들이 많이 검출되어 실제 복원을 하는데 좀 더 유용하게 사용될 수 있다.

5. 3차원 데이터 추출방법

5.1 Histogram Weighted Hough Transform

Histogram으로 가중치를 적용시켜 Hough Transform을 취한 결과를 보기 전에 Histogram의 결과를 조금 더 자세히 보기 위해서 Matlab을 이용하여 3차원으로 Histogram을 그린 모습을 보도록 하겠다.

Y축에 대한 Histogram

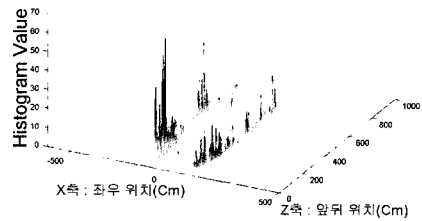


Fig. 9. Y축에 대한 Histogram 결과 1

Y축에 대한 Histogram

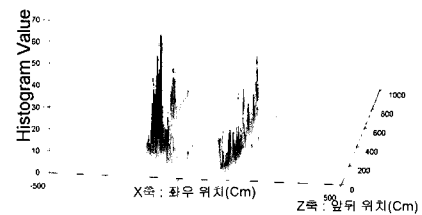


Fig. 10. Y축에 대한 Histogram 결과 2

위의 그림을 보면 Histogram 값이 벽의 위치인 곳에 크기가 큰 값을 가지고 분포를 하게 된다는 것을 볼 수 있다. 이 값을 Hough Transform 할 때 Histogram 값으로 Weight를 주어서 행하면, 더 좋은 결과인 벽을 잘 찾을 수 있을 것이라는 생각에 기인한 알고리즘이 Histogram Weighted Hough Transform이다. 제안된, Histogram Weighted Hough Transform의 알고리즘은 다음 단계와 같이 요약 할 수 있다.

1. 3차원 데이터에 대한 Y축 Histogram 값을 찾는다.
2. 3차원 데이터 중 일정 영역내의 데이터를 추출. (카메라로부터의 거리가 7m 이내, 좌·우 3.5m 이내의 데이터들만 추출)
3. 2에 해당하는 데이터들에 대한 500 X 500 이미지로 Mapping.
4. 변환되는 좌표계에 대한 적절한 양자화(각도는 1도씩 0°180°, 거리는 0710까지로)
5. 변환되는 좌표계의 각 Cell은 Accumulator라고 생각하고, 처음에는 0으로 초기화 한다.
6. 이미지상에서 각각의 (x,y) 점에 대해 수식을 만족하는 Accumulator를 Histogram Value만큼 증가시킨다.
7. Accumulator 배열에서 가장 큰 값부터 순서대로 지정된 개수만큼의 값을 찾아 역으로 Mapping 시킨다.

5.2 3차원 복원 결과

3차원 복원은 DirectX를 사용하였고, 결과는 다음에서 보는 바와 같다.

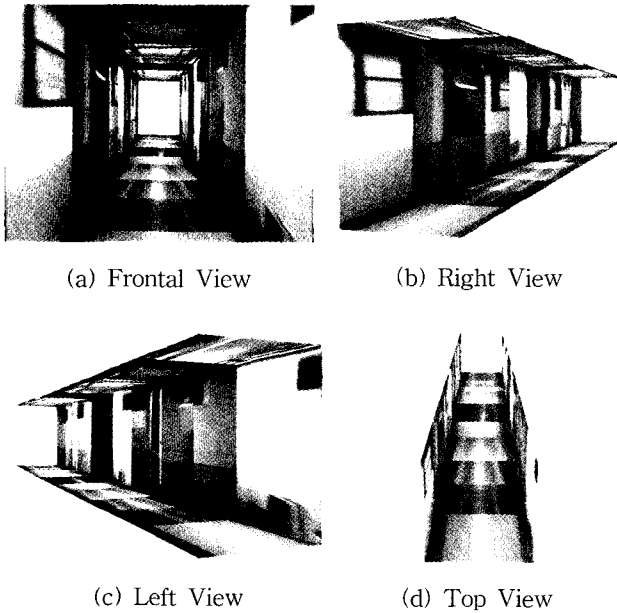


Fig. 11. 3차원 복원 결과

Fig 12.는 다른 환경의 원본 이미지와 그 이미지의 Disparity Map이며, Fig 13.은 이를 3D로 복원한 이미지이다.

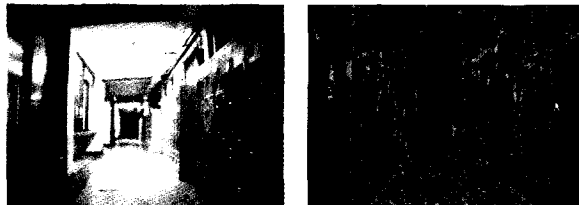


Fig. 12. (a) 원본이미지 (b) Disparity Map

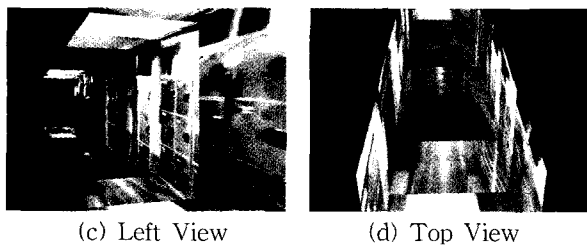
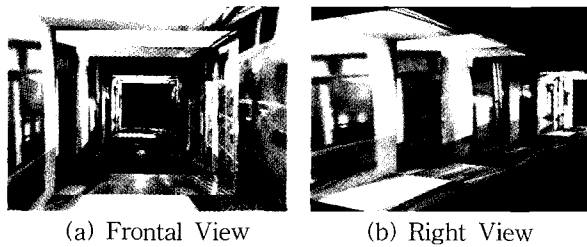


Fig. 13. 3차원 복원 결과 2

위의 실험 결과를 보면 알 수 있듯이 각 Step별 데이터들을 연결하는데 아직 오차가 존재하는 것을 볼 수 있다. 오차의 원인은 Stereo camera의 정밀하지 못한 calibration으로 추정된다. 하지만, 나머지 부분에 대해서는 만족할만한 결과를 보여주고 있다.

6. 결 론

기본적으로 영상시스템으로부터 3차원 데이터의 정확한 추출을 하는 것은 Window Correlation Matching Method를 사용할 때 이미지의 특성상 보이지 않는 부분에 대한 오차들이 존재할 수밖에 없기 때문에 이미지의 해상도가 지금보다 현저히 좋아지지 않는다면 힘든 상태이며, 이러한 상황을 극복하기 위하여 추출된 데이터를 보정하는 알고리즘이 필요하다. 이를 위해 본 논문에서는 Histogram Weighted Hough Transform이라는 새로운 방법을 제시하였으며, 결과를 보면 알 수 있듯이 만족할만한 성과를 거두었다. 처음에는 전체시스템을 실시간으로 만들려고 하였지만, 현재 컴퓨터 시스템으로 3차원 데이터추출과 3차원 복원을 동시에 처리하는 시스템을 만들기는 불가능하였다. 하지만, 차후 컴퓨터가 더 발전하고, 카메라의 성능이 더 좋아진다면, 더 정확하면서도 실시간으로 3차원 복원까지 가능한 시스템이 개발될 수 있을 것이다.

이러한 시스템은 로봇의 주행에 도움을 줄 수 있으며, 시각장애인들을 도와줄 수도 있으며, 보다 정확한 복원을 하게 되면, 로봇의 물체인식에도 기여할 수 있다고 생각한다.

참 고 문 헌

- [1] Emanuele Trucco, Alessandro Verri, *Introductory Techniques for 3-D Computer Vision*, Prentice Hall, 1998
- [2] Olivier Faugeras, *Three-Dimensional Computer Vision*, The MIT Press, 2001
- [3] B. Girod, G. Greiner, H. Niemann, *Principles of 3D Image Analysis and Synthesis*, KAP, 2000
- [4] Rafael C. Gonzalez, Richard E. Woods, *Digital Image Processing*, Prentice Hall, 2001.
- [5] James D. Foley, Andries van Dam, Steven K. Feiner, John F. Hughes, *Computer Graphics Principles and Practice*, Addison-Wesley, 1997
- [6] Bernd Jahne, Horst HauBecker, *Computer Vision and Applications*, Academic Press, 2000
- [7] Richard Hartley, Andrew Zisserman, *Multiple View Geometry in computer vision*, Cambridge, 2000
- [8] Ramesh Jain, Rangachar Kasturi, Brian G. Schunck, *Machine Vision*, McGraw-Hill, 1995
- [9] Olivier Faugeras, Quang-Tuan Luong, *The Geometry of Multiple Images*, The MIT Press, 2001
- [10] Antonio Criminisi, *Accurate Visual Metrology from Single and Multiple Uncalibrated Images*, Springer, 2001
- [11] Milan Sonka, Vaclav Hlavac, Roger Boyle, *Image*

Processing, Analysis, and Machine Vison, ITP, 1999

[12] 장동혁, *Visual C++을 이용한 디지털 영상처리의 구현*, 정보게이트, 2001

저 자 소 개



이동현(Lee Dong Hun)

2004년 : 중앙대 전자전기공학부 졸업.
2004년 현재 : 동 대학원 전자전기공학부 석사과정

관심분야 : 지능로봇, 비전시스템, 신경망, 유전알고리즘

Phone : 02-816-8234
Fax : 02-816-8234
E-mail : dhjames@sirius.cie.cau.ac.kr



엄대연(Um Dae Youn)

2003년 : 중앙대 전자전기공학부 졸업.
2003년 현재 : 동 대학원 전자전기공학부 석사과정

관심분야 : 지능형 로봇 시스템, 신경망, 인공지능, 임베디드 시스템

Phone : 02-816-8234
Fax : 02-816-8234
E-mail : umpire20@sirius.cie.cau.ac.kr



강 훈(Hoon Kang)

1982. 2 Electronics Eng., Seoul National Univ.(BS)

1984. 2 Electronics Eng., Seoul National Univ.(MS)

1989. 9 Electrical Eng., Georgia Inst. of Tech. (Ph,D)

Electrical Electronics Eng. at

Chung-Ang University
Phone : 02) 820-5320
Fax : 02) 820-5320
E-mail : hkang@cau.ac.kr