

웨이블릿 변환과 기준점을 이용한 변위 추정

정희원 노윤향*, 고병철**, 변혜린***, 유지상****

Disparity estimation using wavelet transformation and reference points

Yoon-Hyang Rho*, Byoung-Chul Ko**, Hyeran Byun***, Ji-Sang Yoo**** *Regular Members*

요약

3차원 모델링을 위한 방법 중 서로 다른 위치에서 획득한 두 영상으로부터 3차원 거리 정보를 추출하는 스테레오 영상 기법은 매우 유용한 방법이다. 일반적으로 2D 스테레오 영상으로부터 3차원 모델을 생성하기 위해서는 좌측 영상과 우측 영상의 일치하는 화소를 찾는 정합 과정에 의한 변위 추정이 매우 중요하다. 본 논문에서는 스테레오 영상의 변위 추정 문제를 해결하기 위해 기존 방법들의 장단점을 고려하여 변위의 정확성과 시간상의 효율성을 향상시킬 수 있는 방법을 제안한다. 빠른 수행을 위하여 먼저 스테레오 영상에 대하여 웨이블릿 변환을 수행하고 특징점 정합을 통하여 영상에서 기준이 될만한 기준점을 설정한다. 이 기준점은 95% 이상의 매칭 확률을 가지고 있는 점으로, 이러한 기준점에 기초하여 영역 기반 방법의 조밀한 변위 추정을 위한 가변 블록 탐색창의 크기 결정과 오정합을 막기 위한 ordering constraint가 적용된다. 이렇게 하여 빠른 수행 시간안에 변위를 추정할 수 있었고, 영역 기반 방법의 문제점이었던 일정 크기의 윈도우를 일률적으로 적용하기 때문에 나타나는 폐색 영역의 문제나 반복 패턴으로 인한 오차를 해결할 수 있었다.

ABSTRACT

In the method of 3D modeling, stereo matching method which obtains three dimensional depth information from the two images is taken from the different view points. In general, it is very essential work for the 3D modeling from 2D stereo images to estimate the exact disparity through finding the conjugate pair of pixel from the left and right image. In this paper to solve the problems of the stereo image disparity estimation, we introduce a novel approach method to improve the exactness and efficiency of the disparity. In the first place, we perform a wavelet transformation of the stereo images and set the reference points in the image by the feature-based matching method. This reference points have very high probability over 95%. In the base of these reference points we can decide the size of the variable block searching windows for estimating dense disparity of area based method and perform the ordering constraint to prevent mismatching. By doing this, we could estimate the disparity in a short time and solve the occlusion caused by applying the fixed-sized windows and probable error caused by repeating patterns.

I. 서론

스테레오 영상이란 같은 물체나 장면을 담고있는 서로 다른 시점의 두 영상이고 스테레오 비전(stereo vision)이란 이러한 2차원의 스테레오 영상(stereo

image)으로부터 깊이 정보를 얻어내어 3차원 모델링을 구축하는 것이다^[1]. 이것은 인간의 시각이 양안으로 물체를 인식함으로써 물체의 깊이를 느낄 수 있는 양안 시차의 개념을 기본으로 하는 것이다. 스테레오 영상을 획득하는 방법에는 카메라의 렌즈

* 연세대학교 컴퓨터과학과(yhrho@aipiri.yonsei.ac.kr),

** 연세대학교 컴퓨터과학과(soccer1@aipiri.yonsei.ac.kr)

*** 연세대학교 컴퓨터과학과 교수(hrbyun@aipiri.yonsei.ac.kr),

**** 광운대학교 전자공학과 교수(jsyoo@daisy.kwangwoon.ac.kr)

논문번호 : 010166-0630, 접수일자 : 2001년 6월 30일

※ 본 연구는 정보통신부에서 지원하는 대학 기초 연구 지원 사업으로 수행되었습니다.

축이 평행하며, 각 카메라의 렌즈축과 광학축이 일치하는 평행식 카메라 구조와 각 카메라의 렌즈축과 광학축을 일치하도록 유지하면서 두 카메라의 광학축을 서로 마주보도록 설계한 폭주식 카메라가 있다. 폭주식 카메라 구조는 좌,우 영상의 에피폴라 선이 서로 평행하지 않으므로 수평, 수직 성분 모두의 변위 벡터를 요구하게 되지만 평행식 카메라 구조는 에피폴라 선이 두 영상에 대해 평행하므로 변위 벡터가 수평값만 갖게 된다. 따라서 본 논문에서는 카메라 구조가 간단하여 일반적인 스테레오 영상에 많이 사용되고 있는 평행식 카메라 구조를 사용한다.

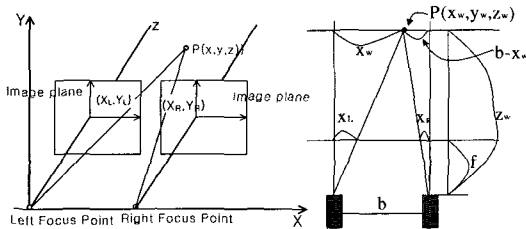


그림 1. 스테레오 영상을 획득하기 위한 카메라 배치도

3차원 공간상의 임의의 한 점이 두 대의 카메라에 투영되어질 때, 2차원 영상에 맺힌 각각의 점은 평면 공간상의 위치 차이를 보이게 된다. 이러한 두 대응점간의 거리 차를 변위(disparity)라 한다. 변위값과 두 카메라 렌즈 사이의 중심 거리 그리고 카메라 초점 거리를 알고 있으므로 그림 1에서와 같이 삼각형 비례 관계식을 적용시켜 물체의 깊이 정보 z 를 구할 수 있다^{[2][3]}. 따라서 정확한 3차원 영상을 만들기 위해서는 3차원 상의 한 점에 해당하는 두 영상 화소의 대응점(correspondent point)을 찾아 변위를 구하는 과정이 무엇보다 가장 중요한 과정이 된다^[1].

본 논문은 이러한 변위를 추정하는 다양한 방법들 중, 기존의 영역 기반 방법(area-based method)과 특징 기반 방법(feature-based method)의 장단점을 서로 보완하여 빠른 수행 시간에 정밀한 변위를 추정할 수 있는 새로운 방법을 제안한다.

먼저, 변위 추정의 빠른 수행 시간을 위하여 전처리 과정으로 영상에 대하여 웨이블릿 변환을 수행한다. 웨이블릿 변환은 원영상을 그대로 작게 줄여 놓는 것으로 웨이블릿 변환이 수행된 좌·우 각각의 영상에 대하여 특징 기반 방법의 정밀한 대응점 탐색 방법을 적용시켜 매칭 확률이 높은 이러한 특

징점들을 영상의 기준점으로 설정한다. 이렇게 설정된 기준점들은 그밖의 점들에 대하여 영역 기반 방법에 의한 조밀한 변위 추정의 단점을 해결해 줄 수 있는 적응적 윈도우 크기 결정의 요소가 되고, 순서 제약 조건(ordering constraint)과 폐색 영역 추출^{[1][4]}을 하는 데에 있어서 결정적 요소가 된다.

본 논문에서 제안하는 알고리즘을 사용하였을 경우 빠른 수행 시간안에 정밀한 변위 추정과 폐색 영역 추출을 할 수 있다는 것을 본 실험의 결과에 의하여 확인할 수 있다.

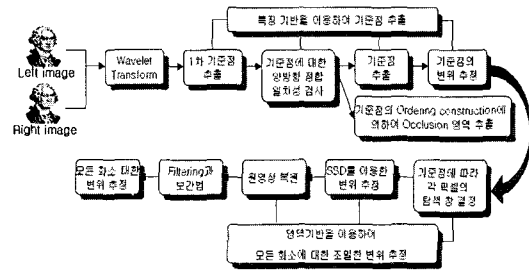


그림 2. 본 논문에서의 변위 추정 과정

II. 스테레오 정합

스테레오 영상으로부터 깊이 정보를 추출하기 위한 가장 중요한 과정은 실세계에서의 한 점이 두 영상의 어느 곳에 위치하느냐를 판단하여 이들간의 거리 차이인 변위를 구하는 것이다. 다시 말하면, 왼쪽 영상에서의 한 점이 오른쪽 영상의 어느 점에 대응되는 지를 알아내는 일이다. 이러한 대응쌍을 구하는 것을 대응 문제(Correspondence problem)^[1]라고 부르며 지난 수년동안 연구 대상이 되어 왔고 아직까지도 많은 연구의 대상이 되고 있다. 따라서 본 장에서는 기존에 연구되어온 정합 방법을 알아보고, 기존 방법들의 단점을 개선하여 좀더 빠르고 정확하게 대응점을 구할 수 있는 새로운 방법을 제안한다.

1. 기존의 정합 알고리즘

스테레오 정합 방법은 크게 영역 기반 방법과 특징 기반 방법, 화소기반 방법, 그리고 최근에 연구되고 있는 계층적 알고리즘과 다 해상도 변위 추정 방법 등으로 나누어진다. 이 중 영역 기반 방법은 기존 화면의 모든 화소에 대해 대응점을 구하기 때문에 조밀한 변위 정보를 얻을 수 있고 연산이 단순하다는 장점을 가지고 있는 반면 잡음에 민감하

고 상관 윈도우 안의 모든 점을 계산해야 하므로 연산 시간이 많이 소요되며, 폐색 영역이나 화소값의 차이가 작은 영역에서는 정확도가 떨어진다는 단점이 있다. 영역 기반 방법은 블록의 크기에 따라 변위 추정 성능 및 계산 시간이 결정되기 때문에 영상에 따라 블록 크기의 결정이 매우 중요하다⁵⁾. 즉, 블록 크기가 작아지면 세밀한 변위 추정은 가능하지만 대응점이 중복되어 신뢰도가 감소하게 되고, 반면에 블록 크기가 커지면 신뢰도는 증가하지만 다른 깊이를 가지는 물체가 동시에 블록 내에 존재할 수 있으므로 정밀한 변위 추정이 불가능하고 계산량이 증가하게 된다. 하지만 일반적인 변위 추정은 블록내의 영상의 특징을 고려하지 않고 동일한 크기의 블록을 사용하여 구현은 간단하지만 정확하고 빠른 변위 추정을 어렵게 한다.

계층적 알고리즘 방법⁸⁾⁹⁾¹⁰⁾은 위의 영역 기반 방법의 단점을 보완하기 위해 윈도우의 크기를 변화 시켜며 변위를 구하는 방법⁶⁾으로 영상을 피라미드 구조로 만들고 낮은 해상도에서 얻은 결과를 상위 해상도에서 이용하는 것이다.

특징 기반 방법은 영상의 모든 화소에 대해 정합을 하지 않고 영상의 밝기 정보로부터 추출된 심볼의 특징을 이용한다¹¹⁾¹²⁾. 이러한 심볼 특징에는 경계선, 끝점, 모서리 및 특별한 연산자에 의해 선택된 점들이 있으며, 이러한 특징들은 영상 자체의 밝기보다는 밝기 변화에 관련된 것으로 영상의 물리적 변화를 잘 나타낼 수 있고, 또한 다른 영역 보다 정보의 양이 집약되어 있는 특징점들을 서로 비교함으로써 수행 시간과 오정합을 줄일 수 있는 장점이 있다. 그러나 특징 기반 방법은 전체 영역에 대한 조밀한 변위 추정이 불가능하므로 후처리로 보간을 시켜 주어야 하는 단점이 있다.

화소 기반 방법은 영상내의 각각의 화소에 대해 밝기 값을 이용하여 대응점을 구하는 방법으로 조밀한 변위를 추정할 수 있고 폐색 영역 추정이 가능하다는 장점이 있다³⁾¹³⁾. 이 방법의 초기 형태는 좌·우 영상의 화소 밝기 값의 차를 최소화하는 방법을 사용하였는데 이러한 방법은 영상 안에 잡음이 존재하거나 광학적 변화가 클 경우 잘못된 변위를 찾을 확률이 높은 단점이 있다. 하지만, 이러한 문제는 평활화 과정을 통해 잡음을 제거함으로써 해결 할 수 있다¹⁴⁾.

다해상도 추정 방법(Multi-resolution Disparity Estimation)은 추정하고자 하는 좌·우 두 영상을 저역 통과 필터(Low pass filter)를 사용하여 여러 가

지 해상도로 분해하여 최상위 레벨에서 계층적(Hierarchical)으로 변위를 추정하는 방식이다. 이것은 계산량의 감소를 가져온다는 장점이 있지만, 블록을 기반으로 하는 변위 추정 방식이기 때문에 영상에 따른 블록의 크기 설정이 매우 중요한 요소가 된다.

2. 웨이블릿 변환을 통한 기준점 추출

본 논문에서 제시하는 변위 추정 방법은 기존의 특징 기반 방법과 영역 기반 방법의 서로의 장단점을 이용하여 효율적으로 변위를 추정하기 위한 방법이다. 먼저, 특징기반 방법을 통하여 소수의 기준점에 대하여 대응점을 추출하여 변위를 추정하고, 전체 영역에 대해서는 조밀한 변위 추정을 위하여 영역 기반 방법을 사용한다. 이때 영역 기반 방법은 정합의 정밀도와 정합 속도가 창의 크기에 크게 좌우된다는 단점이 있으므로 정확한 매칭이 이루어졌다고 가정되는 기준점 사이의 거리를 중심으로 블록의 크기를 결정하여 영역 기반 방법의 단점을 해결한다. 하지만 이와 같은 방법을 수행하였을 경우 2번의 대응점 탐색 과정이 이루어지므로 많은 시간이 소요되게 된다. 따라서 본 연구에서는 이와 같은 수행 시간의 단점을 해결하기 위하여 초기 입력 영상에 대하여 웨이블릿 변환을 먼저 수행하여 1/4 크기의 웨이블릿 변환된 영상에 대하여 기준점 정합 과정을 수행함으로써 수행시간을 단축시킨다.

1) 웨이블릿 변환

웨이블릿 변환은 서로 다른 스케일과 해상도를 적용해 이미지를 처리하는 기법으로, 시간 혹은 공간과 주파수에 대한 해상도를 조절할 수 있다는 것이 특징이고 장점이다. 이것은 사람이 사물을 바라볼 때는 우선 전체적인 윤곽을 파악하고 차츰 자세한 부분을 보기 위해서 집중한다는 사실을 반영하는 것으로 사물을 바라볼 때 블록별로 보는 것에 바탕을 두는 것으로 자연스러운 접근 방식에 기반을 둔다. 웨이블릿 변환은 일반적으로 영상에 대하여 다 해상도의 표현, 뛰어난 에너지 압축 효과, 그리고 넓은 분야의 적용성 등을 제공함으로써¹⁵⁾, 영상 처리, 영상 검색, 비디오 인덱싱과 같은 컴퓨터 비전 분야에 광범위하게 사용되어진다.

본 논문에서는 Daubechies 웨이블릿 필터(tap-4)를 사용하여 영상을 1/4 크기로 줄여든 1단계로 분해한다. 분해된 영상은 원 영상을 그대로 몇 배 작게 줄여 놓은 것이므로 모든 웨이블릿 부영역(subimage)중에서 가장 중요한 정보를 포함하고 있을 뿐만 아니라 잡음이 제거된 영상¹⁵⁾이다. 1/4 크

기로 줄어든 저주파 영역으로부터 매칭 확률이 높은 기준점들을 설정하여 변위를 추정한 후 다시 원영상으로 복원을 하는 과정을 거친다. 그림 3은 원영상으로부터 웨이블릿 변화 과정을 통하여 나타난 저주파 영역과 수직 방향 고주파 영역, 그리고 수평 방향의 고주파 영역, 대각선 방향의 고주파 영역을 나타낸다.

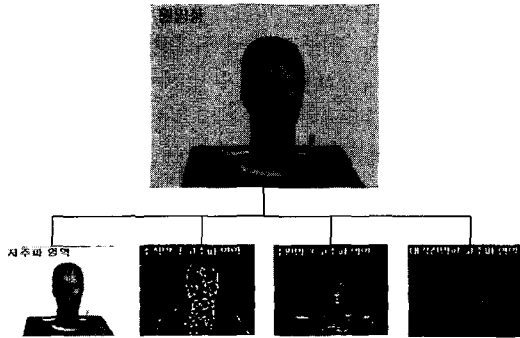


그림 3. 웨이블릿 변환에 의해 나타난 주파수 영역

2) 기준점 설정

영역 기반 방법에 있어서 가장 큰 문제점은 각 화소에 적합한 가변 블록 크기의 결정이다. 이것은 블록의 크기를 얼마만큼으로 정하느냐에 따라 정합 시간 및 정합률이 결정되기 때문이다. 또한 대응되는 점이 있을만한 곳으로부터 탐색창 설정과 순서 제약 조건을 만족하게 하는 것은 높은 정합률을 가져오게 하는 큰 요소가 된다.

따라서 본 논문에서는 영상의 각 화소에 대한 변위 탐색 영역의 크기 결정과 대응되는 화소들간의 순서 일치율을 위하여 화소들 간의 기준이 되는 기준점을 설정하였다. 즉, 기준점 설정이란 영상에서 정합의 확률이 높은 점들로서, 이러한 기준점이 얼마나 잘 설정되었느냐에 따라서 그밖의 점들에 대한 정합률이 결정되고 정합 속도와 매칭 확률에 가장 크게 영향을 주는 탐색 영역의 크기가 가변적으로 결정된다.

기준점은 좌우 영상에서 매칭될 확률이 높은 점으로 설정해야 한다. 따라서 미분값, 방향성, 화소 크기(magnitude)에 대한 각각의 특성에 따른 좌영상에서 우영상으로의 대응되는 점들이 서로 동일한 점을 가리키고, 또한 같은 방법으로 우영상에서 좌영상으로 각각의 특성에 따른 대응점을 찾았을 때, 이것의 결과가 좌영상에서 우영상으로의 대응점과 일치하였을 경우에만 기준점으로 설정한다.

그림 4와 같이 좌영상의 한 화소 L1의 미분값에

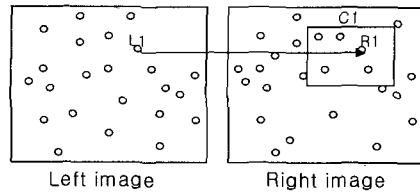


그림 4. 좌영상에서 우영상으로 정합 과정

대하여 우측 영상에 최대 시차 범위와 극상선 오차를 고려한 탐색 윈도우 C1(식1)을 만들어 이 C1 윈도우안에 있는 화소의 미분값들 중 L1과의 차이가 가장 작은 점 P를 선택한다(식2). 또한 L1화소의 방향성과 크기를 구하고 전자와 같은 방법으로 C1안의 화소들 중 L1과의 방향성과 화소 크기의 차이가 가장 작은 화소 Q와 R을 각각 구한다(식3,4). 이때, P, Q, R이 모두 오른쪽 영상에서의 동일한 화소 R1을 가리키고 있다면 이 점을 왼쪽 영상의 화소 L1에 대응되는 1차 기준점 대응 후보라고 한다. C1, P, Q, R을 구하는 과정을 각각 식으로 표현하면 다음과 같다.

$$C1 = \{R1(x, y) \mid L1(x) - MD \leq R1(x) \leq L1(x) + MD, L1(y) - ME \leq R1(y) \leq L1(y) + ME\} \quad (1)$$

MD:최대 시차 범위 ME:최대 극상선 오차

$$P = \min_{x_{R1} \in C1, y_{R1} \in C1} G(x_{R1}, y_{R1}) - G(x_{L1}, y_{L1}) \quad (2)$$

$$Q = \min_{x_{R1} \in C1, y_{R1} \in C1} D(x_{R1}, y_{R1}) - D(x_{L1}, y_{L1}) \quad (3)$$

$$R = \min_{x_{R1} \in C1, y_{R1} \in C1} M(x_{R1}, y_{R1}) - M(x_{L1}, y_{L1}) \quad (4)$$

G:화소의 미분값 D:화소의 방향성 M:화소의 크기

$$\text{if } P \equiv Q \equiv R \text{ Reference point} \quad (5)$$

이렇게 하여 모든 좌영상의 화소에 대하여 우영상에 대응하는 우영상의 1차 대응점 후보들의 화소 집합을 C2라 한다. 정확한 대응점 검출을 위하여 다시 우측 영상의 C2들에 대해서만 우영상에서 좌영상으로 동일한 정합 과정^[16]을 수행하여, 이들의 정합 결과가 일치하는 점들에 대해서만 기준점으로 설정한다.

그림 5는 좌영상으로부터 선정된 우영상의 1차 기준점 대응 후보들의 집합인 C2로부터 다시 우에

서 좌로의 정합 매칭 일치성을 검사하는 과정을 그림으로 나타낸 것이다. 양방향의 정합결과^{[6][17]}가 동일한 것에 대해서만 최종 기준점으로 선정한다. 검정점으로 표시된 화소는 우에서 좌로의 정합을 수행하였을 때 좌에서 우로의 결과와 불일치하여 기준점으로 선정되지 않은 화소들이다.

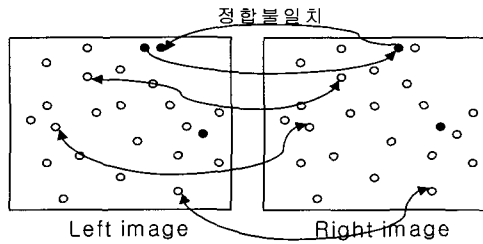


그림 5. 우에서 좌로의 양방향 정합 일치 검사
 ● 양방향정합의 불일치로 기준점이 아닌 픽셀
 ○ 기준점으로 설정된 픽셀

설정된 기준점들은 전체 영상의 15% 정도이고, 웨이블릿 변환을 통하여 1/4크기로 줄어든 영상에서 정합 과정을 수행하기 때문에 빠른 시간안에 추출된다. 만약 좀더 확실한 특징점들에 대하여 기준점들을 추출하기 위해 경계선에 대해서만 이와 같은 과정을 수행^[18]하였을 경우에는 경계선을 이루는 화소들 중 30%가 기준점이 되지만 전체 영상의 화소 개수로 보면 전체 영상의 5% 정도이다. 본 논문에서는 기준점을 가지고 기준점 이외의 점들에 대해 영역 기반 방법의 정합 과정을 후에 수행하게 되므로, 경계선의 기준점만 가지고 실행하였을 경우에는 블록의 크기가 크게 설정되므로 많은 정합 시간의 소요와 정합 오차가 발생하게 된다. 따라서 본 논문에서는 전체 영상에 대해서 기준점을 추출하도록 하였다. 그림 6와 7은 영상 전체의 화소들에 대하여 기준점을 설정한 것과 Canny edge detector에 의해 추출된 경계선을 이루는 화소들에 대하여 기준점을 설정한 것에 대한 기준점 결과 영상이다. 그림 6과 7에서 검정색 점으로 표시된 것이 최종적으로 구해진 기준점이다.

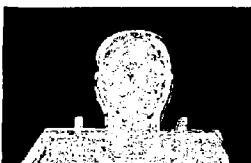


그림 6. 전체 영상에 대한 기준점 설정

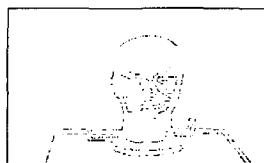


그림 7. 경계선에 대한 기준점 설정

3. 기준점 이외의 점들에 대한 변위 추출

기준점이 설정되었으면 기준점에 대한 변위를 구할 수 있다. 또한 기준점 이외의 점들에 대해서는 영역 기반 방법 중 SSD(Sum Of Squared Distance)^[19]를 이용하여 변위를 구한다. 영역 기반 방법에 의한 변위 추정의 단점은 블록의 크기에 매우 민감하게 영향을 받는다는 것이므로 이를 해결하기 위해 각 화소에 대하여 정확한 매칭이 이루어졌다고 가정되는 기준점을 중심으로 블록의 탐색 크기를 결정한다. 그림 8은 이와 같은 과정을 그림으로 도식화하여 표현하였다.

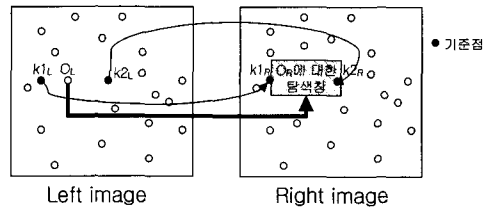


그림 8. 기준점 이외에 대한 점들에 대한 조밀한 변위 추정

그림에서 보는 것과 같이 왼쪽 영상에서 기준점 $K1_L$ 과 $K2_L$ 의 대응점을 각각 $K1_R, K2_R$ 이라고 한다면 순서 제약 조건에 의하여 원 영상에서 두 점간의 정합되는 순서와 반대편 이미지에서의 대응되는 점의 순서가 같아야 한다. 따라서 왼쪽 영상에서 $K1_L$ 과 $K2_L$ 사이에 있는 임의의 점 $O_L(x, y)$ 의 대응점 $O_R(x, y)$ 는 대응되는 오른쪽 영상의 기준점인 $K1_R, K2_R$ 사이에 있어야 하므로(식6), $O_L(x, y)$ 의 대응점을 찾기 위한 탐색창의 블록의 위치는 $K1_R$ 과 $K2_R$ 사이이고, 블록의 탐색창의 크기는 $K2_R - K1_R$ 로 결정할 수 있다.

$$\begin{aligned} & \text{if } K1_L(x, y) < O_L(x, y) < K2_L(x, y) \\ & \text{then } K1_R(x, y) < O_R(x, y) < K2_R(x, y) \end{aligned} \quad (\text{식6})$$

따라서 기준점 이외의 점인 $O_L(x, y)$ 에 대해서는 $O_L(x, y)$ 점의 양쪽 옆에 있는 두 기준점 $K1_L$ 과 $K2_L$ 를 찾아 이것의 대응점인 오른쪽 영상에서의 $K1_R$ 과 $K2_R$ 사이를 탐색 윈도우의 블록 크기로 정하고, 영역 기반 방법의 SSD를 사용하여 조밀한 변위를 구한다. SSD는 조명 변화나 부분 폐색등과 같은 잡음 등에 민감하다는 단점이 있지만, 식이 간단하여 빠른 시간 안에 변위 발생 영역을 추정할 수 있다는 장점이 있어 영역 기반 방법에 많이 사용되고 있다.

$$SSD(x, y, d) = \sum_w [L_{x,y} - R_{x+d,y}]^2 \quad (식7)$$

이때, $L_{x,y}$ 는 좌 영상의 (x, y) 위치에서의 화소 밝기 값을 나타내고, $R_{x+d,y}$ 는 좌 영상에서 d 만큼 이동된 위치에서의 우영상 화소의 밝기를 나타낸다. ω 는 기준점에 의하여 선택된 $K1_R$ 과 $K2_R$ 사이의 정합창의 크기를 나타낸다.

III. 실험 및 결과 고찰

본 연구에서는 기준점들의 대응점 매칭 확률이 조밀한 변위 추정 성능에 영향을 미치게 된다. 따라서 본 실험에서는 좌·우 영상에서 선택된 기준점들에 대해서 매칭 확률을 알아보기 위하여 좌·우 영상에서 추출된 기준점들에 대해서만 밝기값을 그래프로 나타내어 보았다.

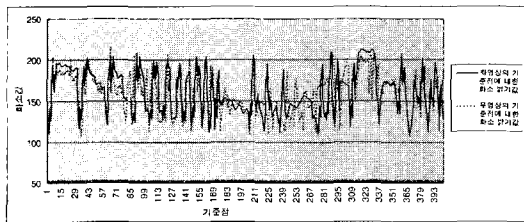


그림 9. 좌·우 기준점에 대한 화소 밝기값 분포도

하지만 카메라의 켈리브레이션 작업중에 발생하는 빛과 잡음등에 의해 생기는 화소의 밝기값의 차이를 고려해야 하기 때문에 아무리 정확한 대응점을 찾았다 하더라도 밝기값의 차이는 나타난다는 점을 고려해야 한다. 또한 갑자기 화소값의 차이가 많이 나는 점들에 대해서는 오매칭의 경우도 있지만 impulsive 노이즈등의 잡음도 의심해 볼 수 있다. 아래의 그림 10은 그림 9에서 좌·우측 영상의 대응하는 기준점에 대한 화소의 밝기값 차이를 그래프로 나타내었다.

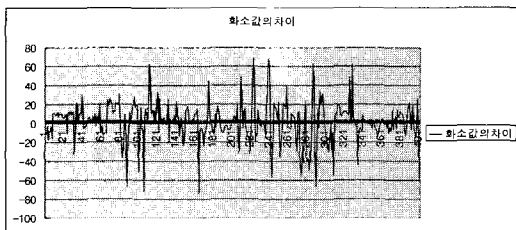


그림 10. 그림 9에서의 화소의 밝기값 차이

밝기값의 차이가 +20~-20까지는 카메라의 켈리브레이션이나 빛에 의한 차이라고 보고 그 보다 큰 값의 차에 대하여 오정합된 것이라고 본다면 전체 화소의 5% 정도가 오정합된 것이라고 볼 수 있다. 따라서 기준점에 대한 정합률은 95%정도로 볼 수 있고 이는 매우 정확한 정확률을 가진다고 볼 수 있다.

또한 본 논문의 변위 추정 시간에 대한 성능 비교를 위하여 아래의 표1을 사용하여 나타내었다. 성능 비교를 위하여 영역 기반 방법의 가장 기본적인 변위 추정 방법인 SSD, SAD(Sum of Absolute Distance), NCC(Normalized Correlation Coefficient) 와 영상에 분포되어 있는 분산값에 따라 영역의 크기를 가변적으로 설정해 주는 분산에 의한 가변 블록 변위 추정 방법¹⁸⁾의 수행 시간도 함께 나타내었다. 또한 웨이블릿 변환을 하지 않았을 경우의 수행 시간도 함께 비교하였다.

본 실험은 Pentium III-450 PC 환경에서 이루어졌고 전처리 과정과 같은 시간을 제외하고 변위만을 추출하는데 걸리는 시간을 나타낸 것이다. 웨이블릿 변환 실험은 웨이블릿 변화 시간도 포함된 것이다.

표 1. 변위 탐색 수행 시간 비교

방 법	그림 11,12		그림 16, 17	
	계산시간 (초)	최대변위 (픽셀)	계산시간 (초)	최대변위 (픽셀)
W_R	2	14	2	22
N_W_R	68	12	89	25
Dis_Vari	26	13	96	17
SAD	18	15	13	22
SSD	54	14	70	22
NCC	190	16	265	23

W_R:웨이블릿과 기준점에 의한 변위 추정

N_W_R:기준점에 의한 변위 추정
(웨이블릿을 사용하지 않음)

Dis_Vari:분산에 의한 가변 블록 변위 추정

표에서 보는 것과 같이 본 연구에 의한 수행 시간이 일반적인 영역 기반 방법에 의한 변위 추정 시간보다 수행시간이 단축되는 것을 볼 수 있고 또한 본 실험에서도 웨이블릿 변환을 하지 않았을 경우에는 웨이블릿 변환에 의한 것보다도 많은 시간을 요구함을 알 수 있다.

그림 13은 본 연구 방법에 의하여 나타난 변위 영상의 실험 결과이다. 실험 결과 분석을 위하여 그

림 11, 12의 단순한 원 영상을 사용하여 나타내었다. 그리고 변위 결과 비교를 위하여 SSD를 사용한 변위 추정 결과 영상(그림 14)과 분산에 의한 가변 블록 변위 추정 결과 영상(그림 15)을 함께 나타내었다. SSD에 의한 실험 결과나 분산에 의한 실험 결과를 보면 원의 좌·우·상·하 부분의 폐색 영역의 부분에서도 변위가 추정되는 것을 볼 수 있다. 하지만 본 실험에 의한 결과를 보면 왼쪽 영상에 의해 나타난 폐색 영역과 오른쪽 영상에 의한 폐색 영역이 확연히 드러나는 것을 볼 수 있고 또한 원의 경계선 부분에서도 보다 정밀한 변위 탐색이 나타나는 것을 볼 수 있다.

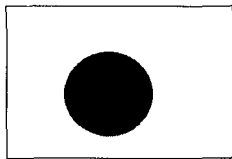


그림 11. 왼쪽 영상

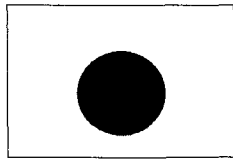


그림 12. 오른쪽 영상

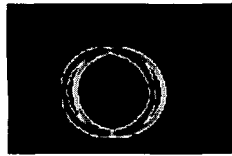


그림 13. 본 실험에 의한 변위 영상

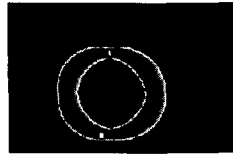


그림 14. SSD를 이용한 변위 영상



그림 15. 분산에 의한 가변 블록 변위 영상

그림 18은 왼쪽 영상 그림 16과 오른쪽 영상 그림 17을 사용하여 나타난 변위 추정 결과이다. SSD를 사용한 변위 추정 결과와 분산을 이용한 가변 블록 변위 추정 결과와 비교하여 보면 본 실험에 의한 변위 추정이 경계선 부분에서와 조밀한 부분



그림 16. 왼쪽 영상



그림 17. 오른쪽 영상

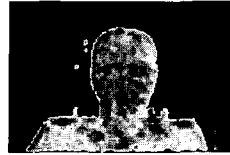


그림 18. 본 실험에 의한 변위 영상



그림 19. SSD를 사용한 변위 영상



그림 20. 가변 블록 분산을 사용한 변위 영상

에서 모두 세밀히 추정되는 것을 볼 수 있다.

그림 22는 스테레오 영상 실험에서 일반적으로 사용되어지는 그림 21의 수족관(aquarium) 영상의 결과이다. 그림 23은 중복 블록을 이용한 변위 추정(OBD-Overlapped Block Disparity)^[20]의 결과이다. 그림 22와 같이 전경과 배경의 구분이 확연히 드러나지 않는 일반적인 영상에 본 논문의 방식을 적용시킬 경우에도 정확하고 세밀한 변위를 얻을 수 있는 것을 볼 수 있다.



그림 21. 수족관 실험 영상 (left, right)

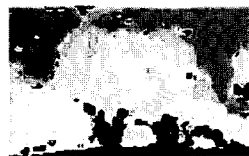


그림 22. 본 실험에 의한 변위 영상(5초)



그림 23. OBD를 이용한 수족관 변위 영상(188초)

IV. 결론

본 논문에서는 95%이상의 매칭 확률을 갖는 특징점들에 대해서 기준점으로 설정한 다음 이 기준점을 중심으로 조밀한 변위를 추정한 것으로 기준점에 대해서는 특징 기반 방법에 의한 정밀한 변위

추정을 하였고 또한 그 이외의 점들에 대해서는 영역 기반 방법의 조밀한 변위 추정을 하였다. 또한 기준점의 설정으로 인하여 영역 기반 방법의 문제점이었던 가변 블록 크기의 결정과 순서 제약 조건의 문제를 해결할 수 있었다. 하지만 이러한 2번의 대응점 추정 과정은 수행 시간을 다소 느리게 하는 단점이 있기 때문에 이를 보완하기 위해 영상에 대하여 원영상을 그대로 축소해 놓는 웨이블릿 변환을 수행하였다. 웨이블릿 변환 과정을 통해 본 실험에서 생기는 수행 시간 문제를 해결할 수 있었고 기준점에 의한 가변 블록 크기 결정으로 폐색 영역이나 반복 패턴으로 인한 오차를 해결할 수 있었다.

하지만 아직까지 추정된 폐색 영역에 대한 변위 보간의 절차가 이루어지지 않았고 정확한 3차원 좌표를 위한 변위의 값을 알 수 없어 변위 추정에 대한 정확한 수치적 오차 측정이 불가능하였다. 또한 향후 정확한 카메라의 보정 작업이 이루어져 정확한 깊이 정보를 측정할 수 있는 방법을 연구하여야 하고, 좀더 사실적으로 표현되어 질 수 있는 3차원 모델링과 텍스처 매칭 작업, 랜더링 작업등이 이루어져야 할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] Ramesh Jain and Rangachar Kasturi and Brian G. Schuck. "Machine Vision," *McGraw-Hill International Editions*, pp. 289-297, 1995.
- [2] Jean-Philippe Tarel, Jean-Marc Vezien, "A complete software solution for camera calibration," *INRIA*, pp. 5-10, 1996.
- [3] Ebroul Izquierdo M. and Silko Kruse, "Image analysis for 3D modeling, rendering, and virtual view generation," *Computer Vision and Image Understanding*, Vol. 71, No. 2, 1998.
- [4] A.Luo and Burkhardt, "An Intensity-Based Bidirectional Stereo Matching with Simultaneous Detection of Discontinuities and Occlusion," *Int. Journal of Comp. Vision*, Vol. 15. pp. 171-188, 1995.
- [5] Takeo Kanade, "A Stereo Matching algorithm with an Adaptive Window : Theory and Experiment," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 16(9), pp920-932, 1994.
- [6] Ebroul Izquierdo M, "Stereo Matching for Enhanced Telepresence in Three Dimensional Video Communications," *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, Vol. 7, No. 4, August 1997.
- [7] Christian Menard and Norbert Brandle, "Hierarchical Area-Based Stereo Algorithm for 3D Acquisition," *International Workshop on Stereoscopic and Three Dimensional Imaging*, September 1995.
- [8] L.H. Quam, "Hierarchical warp stereo," *Proceeding of DARPA Image Understanding Workshop*, New Orleans, LA, pp. 149-155, 1984.
- [9] Sang-Hyun Park, "A study on The Efficient Disparity Estimation for Stereoscopic Image Coding," *Dept. of Electrical & Computer Eng. The Graduate School Yonsei University*, 1999.
- [10] Christian Menard and Norbert Brandle, "Hierarchical Area-Based Stereo Algorithm for 3D Acquisition," *International Workshop on Stereoscopic and Three Dimensional Imaging*, September 1995.
- [11] 최우영, 박래홍, "Stereo vision 및 응용," *전자공학회지*, 제21권, 제10호, pp. 1010-1020, October 1994.
- [12] Angela Rojas, Antonio Calvo and Jose Murioz, "A dense disparity map of stereo images," *Pattern Recognition letters*, Vol. 18, pp. 385-393, 1997.
- [13] Stan Birchfield and Carlo Tomasi, "A Pixel Dissimilarity Measure that is Insensitive to Image Sampling," *IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 20, No. 4, April 1998.
- [14] B.K.P. Horn, *Robot Vision*, Cambridge Mass, MIT Press, 1986.
- [15] M.K. Mandal, T. Aboulnasr, S. Panchana than, "Image Indexing Using Moments and Wavelets," *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, Vol. 42, No. 3, pp. 557-565, August 1996.
- [16] Olivier Faugeras, Bernard Hotz, Herve Mathieu, Thierry Vieville, "Real time correlation-based stereo: algorithm, implementations and applications", *INRIA*, pp. 4-8,

- 1993.
- [17] 김남규, 이광도, 김형근, 차균현, "저 해상도 변위 히스토그램을 이용한 고성능 변위 정보 추출 알고리즘," *전자공학회 논문지* 제 35권 제 3호, pp. 131-143, 1998.
 - [18] 황도식, "기준점과 적응형 윈도우를 이용한 스테레오 내시경 영상에서의 깊이 추출 알고리즘," *연세대학교 대학원*, pp. 1-47, 1998.
 - [19] Jen-Luc Lotti and Gerard Giraudon, "Adaptive window algorithm for aerial image stereo," *Pattern Recognition*, Vol. 1, No. 3, October 1994.
 - [20] Woontack Woo and Antonio Ortega, "Overlapped Block Disparity Compensation With Adaptive Windows for Stereo Image Coding," *IEEE Transactions On Circuits And Systems For Video Technology*, VOL, 10, NO. 2, MARCH 2000.

노 윤 향(Yoon-Hyang Rho) 학생회원



2000년: 전북대학교
컴퓨터 과학과 졸업
2000년~현재: 연세대학교
컴퓨터과학과 석사과정

<주관심 분야> 스테레오 영상, 3차원 모델링, 컴퓨터 비전, 변위 추출, 영상 처리, 패턴인식

고 병 철(Byoung-Chul Ko) 비회원



1998년: 경기대학교
전자계산학과 졸업
2000년: 연세대학교 컴퓨터과학과
석사 졸업
2000년~현재: 연세대학교
컴퓨터과학과
박사 과정 재학중,

<주관심 분야> 영상검색, 비디오 인텍싱, 패턴 인식, 인공지능

변 혜 란(Hyeran Byun) 비회원



1980년: 연세대학교 수학과
졸업
1983년: 연세대학교 수학과
석사 졸업
1987년: Univ. of Illinois,
Computer science (M.S.)

1993년: Purdue Univ, Computer Science (Ph.D.),
1994년~1995년: 한림대학교 정보 공학과 조교수,
1995년~1998년: 연세대학교 컴퓨터과학과 조교수,
1998년~현재: 연세대학교 컴퓨터과학과 부교수,
<주관심 분야> 인공지능, 영상인식, 영상처리

유 지 상(Ji-Sang Yoo) 정회원



1985년: 서울대학교 전자공학과
졸업
1987년: 서울대학교 전자공학과
석사 졸업
1993년: Purdue 대학교 전기공
학과 졸업(Ph.D.),

1993년 9월~1994년 8월: 현대전자산업(주) 산전연
구소 선임연구원
1994년 9월~1997년 8월: 한림대학교 전자공학과
조교수
1997년 9월~현재: 광운대학교 전자공학과 조교수,
<주관심 분야> 웨이블릿 기반 영상처리, 영상압축,
영상인식, 비선형 신호처리