

입체 화상의 3차원 전산모사기 구현에 관한 연구

이 중 · 윤도영[†]

광운대학교 공과대학 화학공학과
139-701 서울시 노원구 월계동 447-1
(2009년 2월 9일 접수, 2009년 3월 5일 채택)

A Study on the 3-Dimensional Implementation of Computer-Aid Management of Stereo Images

Joong Lee and Do-Young Yoon[†]

Department of Chemical Engineering, Kwangwoon University, 447-1, Wolgye-dong, Nowon-gu, Seoul 139-701, Korea
(Received 9 February 2009; accepted 5 March 2009)

요 약

최근 전산기술의 발전으로 난류를 비롯한 3차원의 복잡한 전달현상에 대한 전산유체역학(CFD) 해석의 실효성이 제고되고 있다. 본 연구에서는 초음파나 레이저를 이용한 방법보다 저렴하고, 간편하게 좌, 우 입체 화상으로 추출된 입체화상의 변위히스토그램을 이용하여 3차원 화상을 구현하기 위한 윈도우환경하의 모사기 CAMSI(Computer-Aided Management of Stereo Images)를 개발하였다. 본 프로그램에서는 영역기반 방법이 적용되었으며, 좌우 화상의 정합시 대응점을 결정하기 위하여 제곱차거리합계(SSD), 절대거리차합계(SAD), 평균상관계수(NCC)와 동일점세기(MPC)의 방법들이 각각 적용되었다. 구현된 프로그램은 다양한 윈도우 크기와 한계값에 대하여 우수한 해석능력을 보여주었다. 특히, 화상의 잡영이 적은 곳에서는 작은 윈도우 크기의 SSD가 좀더 정확성이 높은 것으로 나타났으며, 일반적으로는 NCC가, 그리고 잡영이 매우 심한 경우에는 MPC 또는 NCC가 SSD보다는 정확성이 높게 나타났다. 본 연구를 통해 구현된 CAMSI는 복잡한 물체의 구현 또는 그 주변에서 다양한 전달현상의 3차원 CFD 해석에 효과적으로 사용될 수 있을 것이다.

Abstract – Recent evolution of computer technology enhances the effectiveness of CFD(Computational Fluid Dynamics) analysis for the 3-dimensional complex transport phenomena including turbulent flows. Cheaper and easier than laser and ultra-sonic methods, the windows simulator name by CAMSI(Computer-Aided Management of Stereo Images) has been developed in order to implement the 3-dimensional image using a disparity histogram extracted from left and right stereo images. In our program using the area-based method, the matching pixel finding methods consist of SSD(Sum of Squared Distance), SAD(Sum of Absolute Distance), NCC(Normalized Correlation Coefficient) and MPC(Matching Pixel Count). On performing the program, stereo images on different window sizes for various matching pixel finding methods are compared reasonably. When the image has a small noise, SSD on small window size is more effective. Whereas there is much noise, NCC or MPC is more effective than SSD. CAMSI from the present study will be much helpful to implement the complex objects and to analyze 3-dimensional CFD around them.

Key words: Stereo Images, Disparity Histogram, Computer-Aided Management of Stereo Images

1. 서 론

혼합과 난류와 같은 복잡한 유체의 유동현상의 엄밀한 해석을 위한 입자의 화상처리 및 추적기법이 효과적으로 적용된 이후로 최근에는 3차원 화상분석 기법의 발전으로 이를 응용한 유체의 3차원 공간내에서 물체주변의 전달현상을 포함하는 전산유체역학(CFD:

Computational Fluid Dynamics)에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다[1, 2]. 3D CFD에서는 전형적인 지배방정식의 해석에 필요한 알고리즘의 개발이 중요한 역할을 하고 있으나, 수학적으로 증명된 유명한 알고리즘은 충분히 구현되어 최근에는 고성능 PC에서도 어려운 문제들이 쉽게 풀리기도 한다. 따라서 CFD 문제를 해결하는데 있어서 전달현상 지배방정식의 전산 해석기술에 비하여, 3차원 공간 내에서 물체의 경계 또는 복잡한 외곽구조를 결정하는 3차원 형상구현기술의 비중이 상대적으로 높아지게 되었다[3].

물체의 3차원 형상을 측정하는 기술은 입체 항공사진을 사용한

[†]To whom correspondence should be addressed.

E-mail: yoondy@daisy.kw.ac.kr

[‡]이 논문은 서울대학교 최창균 교수님의 정년을 기념하여 투고되었습니다.

지도의 작성에서 시작되어 컴퓨터그래픽(CG: Computer Graphics)이나 전산설계(CAD: Computer-Aided Design)에 대한 데이터 입력으로서 또는 신체 계측 등에 의한 의료·의류디자인 등의 분야에도 사용되어 가고 있다. 또한 로봇비전으로 불리고 있는 연구에서는 로봇의 눈으로 카메라를 사용하여 외계의 3차원 정보를 얻으려는 시도가 이루어지고 있다[4]. 3차원 화상의 계측기술을 크게 나누면 물체 표면에 탐침(probe)을 접촉해서 그 표면상의 각 점의 3차원 좌표를 계측하는 접촉식과 주로 광학적 수단으로 계측하는 비접촉식이 있다. 접촉식에는 기계식 또는 자기방식 등이 있으며 정확한 측정이 가능하지만 측정점을 기계적으로 이동시켜야 하므로 측정 소요 시간이 많이 소요된다. 비접촉식의 3차원 계측기로는 일반적으로 초음파 또는 정밀도가 높은 광학적 방법이 주로 사용된다. 광학적 방법에 의한 비접촉 계측은 크게 나누어 측정기에서 빛을 조사하는 능동형과 화상정보만을 이용하여 계측하는 수동형으로 구분된다. 능동형으로는 레이저의 스포트라이트를 물체표면에 조사하는 스포트라이트 방식으로 이것은 3차원 공간상의 한 점에서 스포트라이트를 조사하고, 다른 위치에 있는 카메라로 스포트라이트의 위치를 관찰함으로써 빛의 조사각과 입사각을 계산하여 스포트라이트가 닿고 있는 물체표면상의 점인 3차원 좌표를 구하는 방법이다. 능동형의 다른 방법은 무아레법(Moire topography)으로 이 방법에서는 평행하고 간격이 같은 격자 패턴을 물체에 투영시켜 요철에 의해 변형된 패턴인 무아레 무늬를 관측함으로써 등고선과 유사한 입체 정보를 얻는다. 관측된 화상에서 피사체의 3차원형상을 계측하는 수동형 방법으로 입체 카메라법(stereo-camera method)은 인간이 두 개의 눈으로 물체를 보고 변위를 얻는 양안입체시의 구조와 동일하게 두 개의 다른 점에서 물체표면의 동일점을 관측하여 그 점에 대한 예상각으로부터 거리를 구하는 방법이며 초음파나 레이저보다 정확도가 다소 낮지만 설치비가 적고 두 장의 입체 사진만 있으면 3차원 거리정보를 얻을 수 있다는 장점이 있다[5].

본 연구에서는 카메라 2대만 있으면 구현할 수 있는 입체화상모사기를 개발하기 위하여, 입체 사진의 3차원 변위추출 알고리즘들을 프로그래밍하여 그 실효성을 검토하고자 한다. 이를 위하여 평면상에 위치하는 구형 물체와 깊이감이 있는 원근 공간 내에서 각형 모양의 물체에 대한 화상처리결과를 비교분석하고자 한다. 이를 위하여 본 연구의 구현을 위한 시스템을 설명하고, 입체 화상으로부터 변위정보를 추출하는 알고리즘에 대해 설명하며, 적용된 알고리즘으로부터 개발된 입체화상모사기(CAMSI: Computer-Aided Management of Stereo Images)에 입체화상을 적용하여, 난류해석 또는 복잡한 구조 주변에서의 전달현상의 해석에 활용하기 위한 입체화상의 효과적인 3차원 전산구현에 대한 타당성과 실효성을 타진하고자 한다.

2. 입체화상 구현이론

2-1. 입체카메라 배치와 촬영

동일한 광학적 특성을 갖는 두 카메라로 서로 다른 방향에서 하나의 물체를 촬영하여 얻게 되는 두 화상에서 피사체의 특정 부분이 서로 다른 위치에 투영되게 된다. 이때 투영된 특정부분에 대한 두 화상에서의 위치 차이를 변위라고 한다. 좌, 우 카메라를 광축과 서로 평행하지 않게 배치하면 대응점을 찾는 탐색범위가 동일선상으로 제한되지 않기 때문에 동일한 y, z 좌표 값을 갖고 x 좌표 값의 차가 b 가 되도록 Fig. 1과 같이 2대의 동일한 CCD 카메라를 배

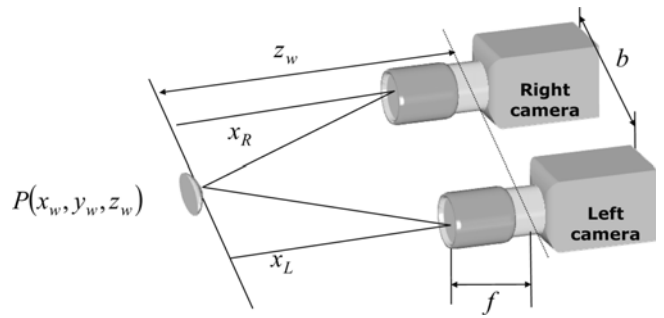


Fig. 1. Schematic configuration of a stereo camera.

치한다. 좌, 우 카메라의 초점거리를 f , 카메라 사이의 거리를 b , 3차원 공간상의 임의의 한 점 P 의 좌표를 (x_w, y_w, z_w) , 이 점 P 가 좌, 우 카메라의 화상면에 투영된 점을 각각 (x_L, y_L) , (x_R, y_R) 이라 한다면, 삼각형의 비례관계에 의하여 다음과 같은 관계식으로 나타낼 수 있다[6].

$$x_L = \frac{fx_w}{z_w}, x_R = \frac{f(x_w - b)}{z_w} \quad (1)$$

식 (1)을 사용하여 z_w 를 구하면 다음과 같다.

$$z_w = \frac{bf}{x_L - x_R} = \frac{bf}{d} \quad (2)$$

여기서 $d(=x_L - x_R)$ 는 변위라고 한다. 카메라로부터 가까울수록 변위가 커지고 먼 거리에 있는 물체는 변위가 작아진다. 좌, 우 카메라에 투영된 대응점의 x 좌표로부터 변위를 구하고 식 (2)를 사용하면, 물체의 3차원 위치정보를 구할 수 있다.

2-2. 입체화상정보

2-2-1. 3차원 화상정보 구현단계

인간은 좌,우 2차원 화상으로부터 지각작용을 통해 3차원적 거리 정보를 추출할 수 있다. 이와같은 인간의 지각작용을 구현하기 위하여 Barnard와 Fischler[7]는 입체화상으로부터 3차원 구조추출하기 위한 화상 획득(image acquisition), 카메라 모델링(camera modeling), 특징점 추출(feature acquisition), 화상 정합(image matching), 변위 획득(depth reconstruction), 보간(interpolation)에 대한 6단계를 체계적으로 제시하였다. 이 중에서 가장 중요한 단계는 화상 정합으로 본 연구에서는 여러가지 이론적인 모델중에서 계산이 단순하고 조밀한 변위에 대한 정보를 구현하기에 용이한 화상 영역기반 방법을 적용하였다.

2-2-2. 화상 영역기반 방법

화상 영역기반 방법(area-based method of image)은 물체의 입체 화상에서 대응점을 찾고자 하는 화소를 중심으로 일정한 크기의 창내의 화소들과 대응점이라고 간주되는 화소들간의 유사도를 계산하여 유사도가 가장 큰 값을 갖는 화소를 대응점으로 정의하는 방법이다[8]. 이때 유사도를 계산하는 방법으로는 화소간의 밝기차를 분석하는 제곱차거리합계(SSD: sum of squared distance)와 절대거리차합계(SAD: sum of absolute distance), 상관관계를 분석하는 평균상관계수(NCC: normalized correlation coefficient), 그리고 비슷한 화소의 개수를 분석하는 동일점세기(MPC: mixed pixel count) 방법으로 구분할 수 있다[8, 9]. 이들을 각각의 약어로 하여 관련된 수식들을 정리하여 나열하면 다음과 같다.

$$SSD(x, y, d) = \sum_w (R(x, y)^2 - L_{x+d, y})^2 \quad (3)$$

$$SSD(x, y, d) = \sum_w |R(x, y)^2 - L_{x+d, y}| \quad (4)$$

$$NCC(x, y, d) = \frac{\left(\sum_w R(x, y)^2 L_{x+d, y}\right)^2}{\sum_w R(x, y)^2 \times \sum_w L_{x+d, y}^2} \quad (5)$$

$$MPC(x, y, d) = \sum_w T(x, y, d) \quad (6)$$

$$T(x, y, d) = \begin{cases} 1, & \text{if } |R_{x,y} - L_{x+d,y}| \leq Thr \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (7)$$

여기서 $L_{x,y}$ 와 $R_{x,y}$ 는 (x,y) 위치에서 좌, 우 화상 화소의 밝기값을 나타내고 W 는 좌, 우 화상 각각의 위치 $(x+d,y)$ 와 (x,y) 를 중심으로 하는 일정한 크기의 정합 창을 나타낸다. 좌, 우 화상 각각의 위치 $(x+d,y)$ 와 (x,y) 에서의 화소 밝기가 비슷하면 $T(x,y,d)$ 는 1, 비슷하지 않으면 0의 값을 각각 갖는다. Thr 는 미리 정의된 문턱값(threshold value)이다. 이때, 변위는 SSD , DAD , NCC 와 MPC 가 최대로 될 때의 d 값이 된다. SSD , SAD 와 NCC 등은 화소간의 밝기 변화가 큰 영역이 작은 영역으로 경계선이 연장되는 현상(boundary overreach)으로 인해 경계 부근에서 잘못된 결과를 얻을 수 있다. 이와 같은 경우에는 화소의 밝기 값에 관계없이 화소가 정합결과에 미치는 영향이 동일한 MPC 를 적용하였으며 이때 Thr 는 1로 설정하였다[7].

2-2-3. 대응점 확률함수와 변위

초기 대응점이 밝혀진 점들이 $\{a_i\}$ 이면, 이 점들은 변위 L_i 를 갖고 있다. 각각의 변위 L_i 는 (L_x, L_y) 벡터를 갖고 있으며 이들은 각 점에 대응된다. 대응되지 않은 점이 1* 변위를 가진다고 가정한다면, 이 노드들의 변위가 옳은 경우의 확률을 구해야 할 것이다. 이 확률이 $p_i(l)$ 이라 하면 이것은 0과 1사이이며 전부 일치한다면 $\sum_l p_i(l) = 1$ 과 같이 나타낼 수 있다. 본 연구에서 초기 확률은 아주 조그만 윈도우 내의 차들의 합에 기반을 둘 것이다.

$$w_i(l) = \frac{1}{1 + c * s_i(l)}, l \neq l^* \quad (13)$$

$$p_i^0(l^*) = 1 - \max_{l \neq l^*} (w_i(l)) \quad (14)$$

$$p_i^0(l^*) = p_i^0(l^*) * 1 - \max_{l \neq l^*} (w_i(l)), l \neq l^* \quad (15)$$

여기서 식 (13)~(15)에 사용되는 계수는 다음의 식으로 나타낼 수 있다[19].

$$q_i^k(l) = \sum [\sum p_i^k(l')], l \neq l^* \quad (16)$$

$$p_i^{k+1}(l) = p_i^k(l) * (A + B * q_i^k(l)), l \neq l^* \quad (17)$$

$$p_i^{k+1}(l) = p_i^k(l^*) \quad (18)$$

$$p_i^{k+1}(l) = \frac{p_i^{k+1}(l)}{\sum_{l \in L_i} p_i^{k+1}(l)} \quad (19)$$

이때 우 화상을 기준으로 계산된 변위와 좌 화상을 기준으로 계산된 변위가 서로 일치하지 않으면 이 화소는 정합에서 제외시킨다. 이를 두화상 제한(two-view constraint)이라고 한다. 한편, 5x5 픽셀

에서 변위차가 2.5 픽셀 이상 평균과 차이가 있을 때 이 화소는 정합에서 제외시켜야 하는 고립점 제한(no isolated pixels constraint)을 고려할 수 있다. 고립점을 검색하기 위한 내적($= -x_1 - x_2 - x_3 - x_4 + 8x_5 - x_6 - x_7 - x_8 - x_9$)을 계산하면 임의의 픽셀 명암도가 주위에 비하여 매우 큰 경우에 이 내적의 값이 상대적으로 클 것이다. 이를 바탕으로 내적 값이 역치 이상인 픽셀을 고립점으로 표시할 수 있다[5, 10, 11].

다음 단계로 시그마필터링은 보간하고자 하는 화소를 중심으로 한 일정한 크기(여기서는 5x5)의 창내의 화소들의 평균과 표준편차를 구하여 보간하는 방법이다. 따라서 우선 95.5%의 분포를 포함하는 2σ 영역 내에서 평균을 구한다. 만약 2σ 영역 안에 포함된 화소가 4이하라면 평균으로 치환하고 아니라면 근처의 평균으로 대체할 수 있다[12]. 거리 정보를 나타내는 식 (2)에서 z 는 mm 단위이고 d 는 화소 단위이므로 단위 거리당 화소수를 나타내는 Δp [pixels/mm]를 적용하여 변위에 대한 수식으로 나타내면 다음과 같다[7].

$$z = \frac{bf\Delta p}{d} \quad (20)$$

2-2-4. 윤곽선 검출 알고리즘

화상정보를 주파수영역으로 변환시켜서 화상의 주파수 성분의 해석을 가능하게 하기 위하여, 이산푸리에 변환(DFT: Discrete Fourier Transform)을 통해 공간영역의 상소적분 등의 복잡한 계산을 힘든 수식을 간편하게 하여 화상 보정 필터의 설계를 용이하게 할 수 있다. 본 연구에서 적용한 이산푸리에 변환과 역이산푸리에 변환(IDFT: Inverse Discrete Fourier Transform)을 다음과 같이 정의한다[9].

$$S(w_1, w_2) = F[s(n_1, n_2)] = \sum_{n_1=-\infty}^{\infty} \sum_{n_2=-\infty}^{\infty} s(n_1, n_2) e^{-jw_1 n_1} e^{-jw_2 n_2} \quad (21)$$

$$S(n_1, n_2) = F[s(w_1, w_2)] = \sum_{w_1=-\infty}^{\infty} \sum_{w_2=-\infty}^{\infty} s(w_1, w_2) e^{jw_1 n_1} e^{jw_2 n_2} \quad (22)$$

화상정보의 크기는 유한하므로 $N \times N$ 크기의 화상에 대해서 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$S(w_1, w_2) = \sum_{n_1=0}^{N-1} \sum_{n_2=0}^{N-1} s(n_1, n_2) e^{-jw_1 n_1} e^{-jw_2 n_2} \quad (23)$$

$$S(n_1, n_2) = \sum_{w_1=0}^{N-1} \sum_{w_2=0}^{N-1} s(w_1, w_2) e^{jw_1 n_1} e^{jw_2 n_2} \quad (24)$$

위의 식들에서 연산 속도를 고려할 때, 식 (21)의 계산에는 더하기와 곱하기가 각각 N^4 번 행해져야 한다.

Gonzalez와 Woods[13]는 화상의 윤곽선 검출방안으로서 필터를 사용하여 화상을 처리한 후 어떤 역치 이상의 값을 가지는 픽셀을 윤곽점으로 삼을 것을 제안하였으나, 윤곽점 근처에서 명암도 전이는 연속적이지 않고 계단 함수로 가정되는 단점이 있다. 이를 극복하기 위하여 본 연구에서는 일반화한 Gaussian-Laplacian 모델을 적용하여, 무방향성 즉, 모든 방향으로 고른 2차 미분의 연산자(LOG: Laplacian of Gaussian)를 고려하고자 한다. 1차원 Gaussian 함수 $g(x)$ 는 다음과 같이 정의된다.

$$g(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma^2}\right) \quad (25)$$

여기서 σ 는 Gaussian 분산정도를 나타내기 위한 표준편차이며, 이 함수의 Fourier 변환은 $G(w) = \exp(-\frac{1}{2}\sigma^2\omega^2)$ 이다. 이를 기초로하여

2차원 평면 공간에서 중심에서부터의 거리를 픽셀 공간에서 행과 열 표시(r, c)로 나타내면, 다음과 같다.

$$g(r, c) = \frac{1}{2}\pi\sigma^2 \exp\left(-\frac{r^2+c^2}{2\sigma^2}\right) \quad (26)$$

국소적 픽셀 명암도를 $f(r, c)$ 로 나타내고, 이를 $g(r, c)$ 와 가중적분 시킨 후 Laplacian을 취하면 LOG는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$h(r, c) = \nabla^2[g(r, c) \otimes f(r, c)] \quad (27)$$

여기서 부호 \otimes 는 가중적분을 나타낸다. 위의 식 (27)에 가중적분에 대한 미분 규칙을 적용 하면 다음과 같다.

$$h(r, c) = \nabla^2 g(r, c) \otimes f(r, c) \quad (28)$$

또한 ρ 가 원점으로부터 해당 픽셀까지의 거리이므로 $\rho^2=r^2+c^2$ 로 치환하면 다음과 같이 전환할 수 있다.

$$h(\rho) = \nabla^2 g(\rho) \otimes f(r, c) \quad (29)$$

$$\nabla^2 g(\rho) = -\frac{1}{\pi\sigma^4} \left(1 - \frac{\rho^2}{2\sigma^2}\right) \left(-\frac{\rho^2}{2\sigma^2}\right) \quad (30)$$

이상과 같이 유도한 $\nabla^2 g(\rho)$ 로부터 얻을 수 있는 마스크를 국소적 픽셀 명암도를 $f(r, c)$ 와 가중적분시킴으로서, Gaussian을 화상에 가중적분을 함으로써 무방향성 2계 미분을 한 효과를 쉽게 얻을 수 있다[14]. 그 결과의 값에 대하여 영점을 통과한다는 기준을 가지게 되는 윤곽점으로 판별하였다. 본 연구에서는 각 픽셀에 중심을 두고 $\Delta^2 g(\rho)$ 의 마스크를 가중적분시키면서 이웃하는 픽셀에서의 가중적분 값이 서로 부호가 다르면 영점을 통과하는 것으로 간주하고 윤곽점으로 인식하였다[15]. 이와 같은 기준으로 이웃 픽셀의 가중적분 값 차이에 역치를 적용하여 역치 이상이면 윤곽점으로 판별할 수 있다.

3. 결과 및 고찰

3-1. 프로그램구현

입체화상구현을 위한 프로그래밍 언어는 C++이며 윈도우환경을 위해 아래 Fig. 2와 같이 MicroSoft사의 Windows에서 작동되도록 하였고 기능의 풀다운(pull-down) 메뉴 선택방식과 대화상자를 통해 시각적이고 쉬운 변수 입력 인터페이스 방식을 택했다. 우선 입체 화상 구현을 위해 인터넷에서 제공되는 표준형 입체 화상을 습득하여 화상처리 작업을 다양한 화상 정합알고리즘에 적용될 수 있도록 하였다. 입체 화상은 디지털 신호화하였고, 압축파일의 정보 손실을 방지하기 위해 비압축 파일 형식인 bmp 파일을 디지털 신호처리에 활용하였다. 구현된 프로그램에서는 화상을 이산 푸리에 변환을 적용하여 주파수영역으로 변환된 MDI(Multiple Document Interface) 형식으로 만들었다. 또한 변수를 입력하여 실행할 수 있게 하였으며, 산출된 변위 히스토그램을 이용하여 외곽선을 추출하고 이를 구현할 수 있도록 하였다.

본 연구를 통해 구현된 입체 화상의 입체화상처리를 위한 CAMSI (Computer-Aided Management of Stereo Images)에서는 결과에 대한 시각적 표현을 위해 산출된 변위들을 0-255의 정수 값으로 선형 정량화시켜 0은 검은색으로, 255는 흰색으로, 중간 값들은 대응되는 명암으로 나타냈다. 고속 MPC의 경우 윈도우 크기에 관계없이 가장 소요시간이 짧았으나 많은 주메모리를 요구하며 화상 크기가

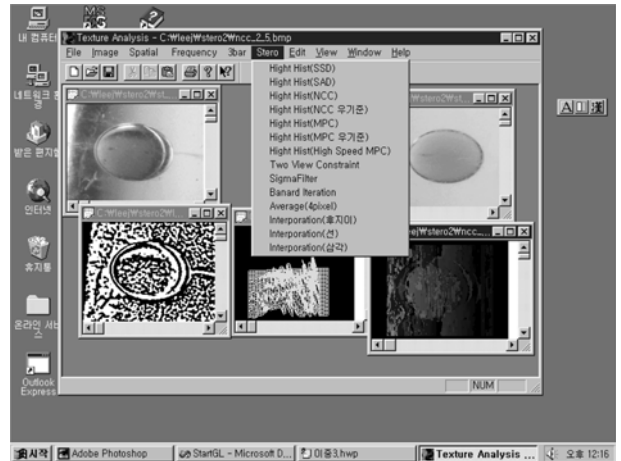


Fig. 2. Implementation of CAMSI(Computer-Aided Management of Stereo images).

740×480의 경우 주메모리만으로 처리 가능하지 않아 하드디스크를 사용하기 때문에 타 방법보다 시간이 많이 걸리는 경우도 있었다.

3-2. 구형입체물에 대한 입체화상 구현

Fig. 3은 신문을 배경으로 한 야구공에 대한 사진에 대한 화상처리 결과들을 중합하여 나타낸 것이다. 그림에서 (a)와 (b)는 각각 좌, 우측에서 입체 카메라 사진의 화상으로서 256×256 크기로 하여 흑백의 256 계조로 구성된다. 그림에 보이는 바와 같이 흑백의 256 계조를 가진 원래 그림을 3×3 윈도우 크기에서부터 9×9까지 변화시키면서 SAD, SSD, NCC를 적용하였다. (c)와 (d)는 SAD 기법으로, (e)와 (f)는 SSD 기법으로 (g)와 (h)는 NCC로 그리고 (i)와 (j)는 MPC 기법으로 구현한 화상으로서, 3×3과 9×9의 화상크기를 각각 적용한 결과이다. 또한 (k)와 (l)은 표준 편차 0.7로 LOG를 가한 외곽선 화상이다. 그림에서 (e)와 (f)의 SSD 기법인 경우에는 야구공 뒤에 배열되어져 있는 신문의 위치에 대한 계산에서 오차가 발생되었고, 공 가운데에서 잘못된 정합부분이 발견되었다. (c)와 (d)의 SAD 그리고 (g)와 (h)의 NCC 기법의 경우에는 정합을 매우 정확하게 구현하였으며, 전반적으로 타방법들보다 NCC가 좀더 정확한 결과를 산출하는 것으로 나타났다. MPC의 경우, (k)에서 보인 바와 같이 3×3의 윈도우 크기의 경우에는 잡영(noise)이 너무 많아 정합이 전혀 안 되는 것처럼 보이나 윈도우 크기를 SAD, SSD 그리고 NCC보다 크게 하여 본 결과((l)), 작은 경우의 결과보다는 화질이 개선됨을 확인할 수 있었다. NCC를 하는 경우 최대 상호상관계수를 정합점으로 잡은 경우 배경화면에 위치한 신문의 경우 전혀 찾지 못하였고 공의 경우에도 부분적으로만 구현하는 경향이 있으므로, 조그만 윈도우 크기의 최대 상호상관계수의 합으로 정합점을 찾는 것이 하나의 상호상관계수보다 정확한 것으로 보인다.

MPC는 좌,우 화상이 같은 음영일 경우에만 오차가 없는 것으로 취급하기 때문에 결과를 개선시키기 위해 원 화상들을 그대로 적용하지 않고 전처리 단계로 원 화상에 LOG(Laplacian of Gaussian)를 수행하였다. 표준편차 변수를 0.3에서 2.0까지 일정한 간격으로 적용시켰을 때, 변수 값이 너무 작은 경우에는 미세한 윤곽선뿐만 아니라 잡영 역시 윤곽선으로 인식하여 현출되고, 표준편차 변수를 높게 적용할 경우에는 미세한 윤곽선은 현출되지 않으나 잡영으로 인하여 발생하는 윤곽선을 줄어들어서 MPC에서는 Fig. 3의 (k)와 (l)에

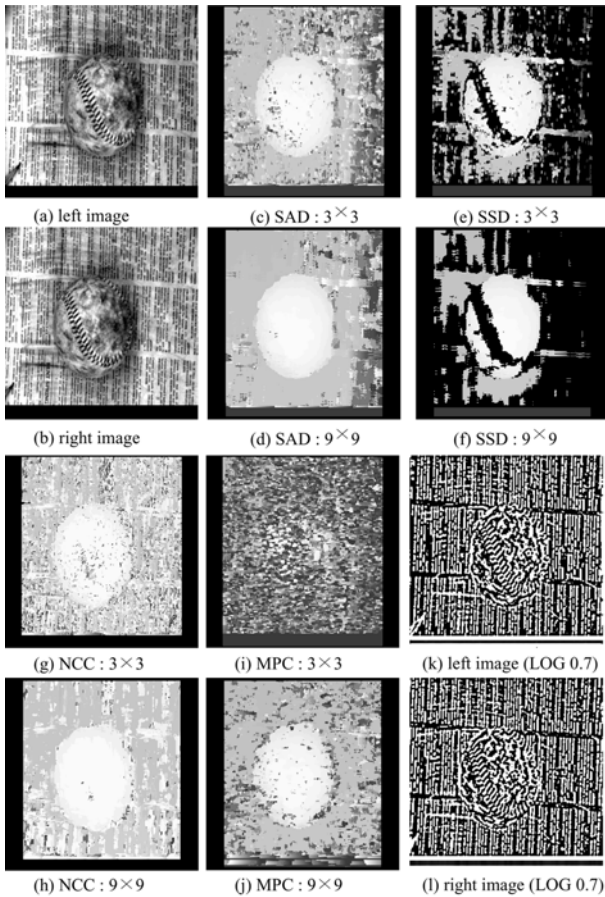


Fig. 3. Stereo images of a baseball on the newspaper by using variable methods.

보이는 표준편차의 값이 0.7에서 좋은 성능을 보이는 것으로 관찰되었다. 그러나 주파수 영역에서 윤곽선을 추출하는 기법(LOG 기법 등)이나 그 외 다른 방법(Laplacian, 등의 다른 연산자)으로 외곽선을 추출하는 방식들 모두 윤곽선이 좌,우가 약간씩 다르게 나올 수도 있다. 따라서 MPC의 경우 윤곽선의 추출에 관계없이 카메라 조영이나 음영등으로 인한 좌우화상이 약간 변형되므로 인해서 정확한 변위 히스토그램이 추출되지 않을 수도 있다.

3-3. 원근형 입체구조내의 물체에 대한 입체화상 구현

Fig. 4는 전면에 둥근 물체와 삼각뿔이 위치한 복도에 대한 입체화상 처리결과를 보여주고 있다. 그림에서 (a)와 (b)는 좌, 우 화상으로부터 화상처리를 수행한 그림으로 그 크기는 256x256으로 흑백의 256 계조를 가지고 있다. 앞의 Fig. 3의 결과와 마찬가지로 흑백의 256 계조를 가진 좌우 화상들을 3x3 윈도우 크기에서부터 9x9 까지 변화시키면서 SAD, SSD, NCC를 적용하였다. SSD의 경우 [(e),(f)]에는 복도의 아래부분에서 오정합이 여러 군데 발견되었고 벽 부분에 있어서도 약간에 오정합이 나타났다. NCC의 경우[(g), (h)], 벽부분의 변위히스토그램에서 오정합이 발견되었으며 윈도우 크기의 평균을 가한 정규화된 상호상관계수를 사용함으로써 잡영이 별로 없는 화상의 경우에는 정규화되지 않은 화상보다 정확한 변위히스토그램이 나오지 않는 경향이 있다. SAD[(c), (d)]의 경우에는 벽, 복도 아래부분, 복도 윗부분 다 방법보다 전부 정확히 변위 히스토그램을 산출하는 경향이 나타났다. MPC의 경우, 3x3의

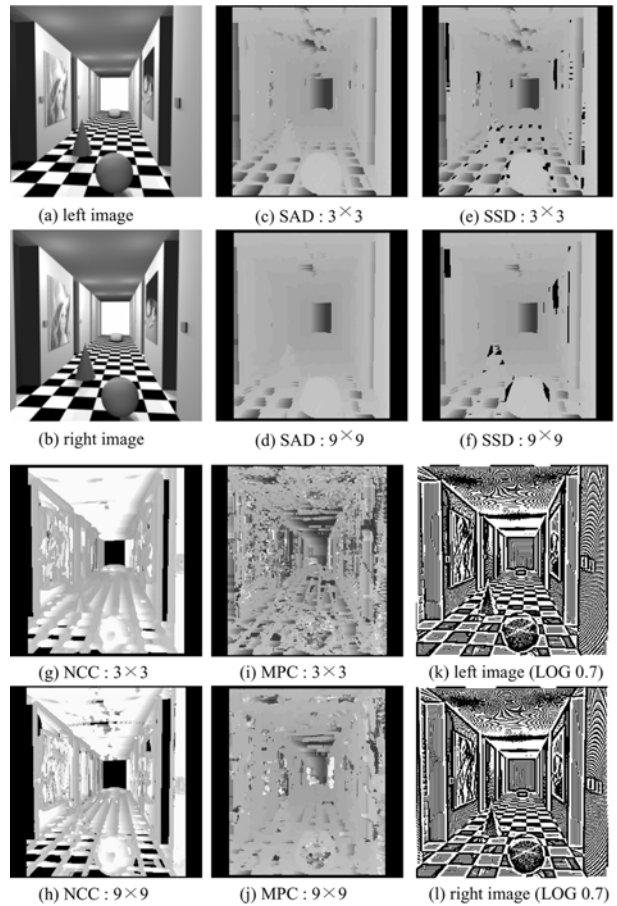


Fig. 4. Stereo images of various bodies in the gallery by using variable methods.

경우(i)에는 잡영이 너무 많아 정합이 전혀 안되는 것처럼 보이거나 윈도우 크기를 증가시킨 9x9의 경우(j) 여러 군데에서 오정합이 발견되나 변위 히스토그램의 경향은 알아볼 수 있는 정도이다. SAD와 SSD는 공통으로 3x3 크기에서는 상당한 잡영이 발생하는 경향이 있었고, NCC의 경우에는 SAD, SSD보다는 잡영이 적으나 역시 잡영이 발생하는 경향이 있었다. 반면에 윈도우 크기가 커지면 잡영이 적어지나 미세한 부분의 정보가 사라지는 경향이 있으므로 적정의 윈도우 크기가 변위정보추출에 중요한 인자가 됨을 확인할 수 있었다. SSD의 경우 오차의 제곱이기 때문에 SAD보다 오차가 커지면 영향을 더 받는 것으로 고려된다.

MPC의 경우 흑백의 명암화상에 직접 적용하지 않고 이것을 LOG화시킨 윤곽선 화상에 적용시켰다. LOG가 작은 수일 경우 미세한 윤곽선들이 전부 나타나며 잡음이 심하며 LOG가 클 경우에는 전체적인 윤곽선들은 잘 나타나지만 미세한 윤곽선이 보이지 않게 되는 경향이 있다. 이 윤곽선을 MPC로 정합시킨 결과 동일한 윈도우 크기에서 SAD, SSD보다 잡음이 심하므로 윈도우 크기가 타 방법보다 윈도우 크기를 크게 해서 정합시켜야 한다. NCC의 경우에는 처음에는 상호상관계수 최대값을 구하여 그 점이 정합 점으로 채택하였으나 그 결과가 작은 윈도우를 만들어 여러 상호상관계수를 다시 더하여 최대값을 정합점으로 하는 것이 더 향상된 결과를 보인다. 잡영의 적음을 기준으로 하면 Fig. 4의 화상처리 결과에서는 SAD 기법에 의한 방법이 가장 선명하게 잘 표현되는 것을 확인할 수 있었다.

3-4. 정합기법의 비교분석

흑백의 256 계조를 가진 그림을 윈도우 크기가 3×3에서부터 9×9 까지 변화시키면서 SAD, SSD, NCC를 가하여 본 결과 SAD, SSD 공통으로 3×3 크기에서는 상당한 잡영이 발생하는 경향이 있었고 NCC의 경우에는 SAD, SSD보다는 잡영이 적으나 역시 발생하는 경향이 있고 윈도우 크기가 커지면 잡영이 적어지나 미세한 부분의 정보가 사라지는 경향이 있으므로 적정의 윈도우 크기가 변위정보 추출에 중요한 인자될 수 있음을 확인할 수 있었다. SSD의 경우 오차의 제공이기 때문에 SAD보다 오차가 커지면 영향을 더 받는 것으로 고려된다. MPC의 경우 흑백의 명암 화상에 직접 적용하지 않고 이것을 LOG 화 시킨 윤곽선 화상에 적용시켰다. LOG가 작은 수일 경우 미세한 윤곽선들이 전부 나타나며 잡음이 심하며 LOG가 클 경우에는 전체적인 윤곽선들은 잘 나타나지만 미세한 윤곽선이 보이지 않게 되는 경향이 있다. 이 윤곽선을 MPC로 정합 시켜 본 결과 같은 윈도우크기에서 SAD, SSD보다 잡음이 심하므로 윈도우 크기가 타 방법보다 윈도우 크기를 크게 해서 정합 시켜야만 한다. NCC의 경우에는 처음에는 상호상관계수 최대값을 구하여 그 점이 정합 점으로 채택하였으나 그 결과가 작은 윈도우를 만들어 여러 상호상관계수를 다시 더하여 최대값을 정합점으로 하는 것이 더 나은 결과를 나타내었다.

음영, 조명, 카메라 등이 같은 조건이 아니기 때문에 정확한 대응점을 찾기가 곤란한 점을 개선하기 위하여 SSD, SAD 등의 기법을 통해 변위를 윈도우의 평균 명암으로 나누어 보았으나 효과가 미미하였다. 한편 SSD, SAD의 경우에 윈도우를 4분면으로 하여 오차가 적은 값을 취하는 기법을 적용하여 보았는데 이 기법은 매우 복잡한 결을 가진 화상의 경우에는 윈도우 전체로 표현하는 방법보다 정확성이 높은 경우가 나타났다. SAD, SSD, MPC와 NCC 모두 윈도우 크기가 적으면 잡영의 영향이 커지며 반대로 윈도우 크기가 너무 크면 변화 정도가 급격한 미세한 정보가 사라지는 경향이 있으므로 적당한 윈도우 크기의 적용이 요구된다. 본 연구에서 사용된 입체 카메라에서 두 카메라의 광학적 특성이 동일하다고 가정하였으나 CCD 등 카메라 내부의 소자 특성의 차이, 아날로그 화상 상태에서의 전달선에 미칠 수 전기적 교란, 디지털 화상으로 변환시키는 과정에서의 에러 등 두 화상의 정확도에 영향을 미치는 잡영 성분의 영향을 극복할 수 있는 알고리즘의 지속적인 개발이 요구된다.

4. 결 론

본 연구에서는 운동기포에 대한 3차원적 형상해석을 위해 입체 사진을 이용한 기포의 변위추출을 시도하였다. 변위 추출 알고리즘으로서 SAD, SSD, MPC, NCC 등의 방법을 적용하여 구현된 입체 화상으로부터 대응점과 히스토그램의 특성을 상호 비교 분석함으로써, 입체카메라로 추출된 변위정보에 대한 3차원 입체화상을 구현하는데 있어 본 연구의 타당성과 가용성을 타진하였다. 본 연구에서는 윈도우의 크기와 픽셀수의 정밀도가 변위추출알고리즘에 관련이 있으며, 입체화상의 구현에 있어 대응점 정합이 매우 중요함을 확인할 수 있다. 본 연구의 결과는 연속적으로 촬영된 입체 화상물에 적용되어 유체흐름의 속도와 모양의 연속적인 변화를 분석하기 위한 기본적인 도구로 활용될 수 있으며 지금까지 주로 행해진 2차원적인 해석에서 탈피하여 3차원 해석으로 그 범위를 넓히게 되어

공간적인 유체의 흐름 분석이 가능할 것으로 기대된다. 본 연구에서 구현된 3차원 입체화상모사기(CAMSI: Computer-Aided Management of Stereo Images)는 3차원 입체화상의 구현과 관련된 용도에 있어 직접적으로 사용될 수 있으며, 물체의 3차원 위치계측과 구조분석, 분자구조모사 및 열유체의 난류기동과 같은 다양한 3차원 전달현상의 해석시에 효과적으로 사용될 수 있을 것이다.

감 사

본 연구는 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT 연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었습니다(IITA-2009-C1090-0902-0018).

참고문헌

1. Chang, T. P. K., Watson, A. T. and Tatterson, G. B., "Image Processing of Tracer Particle Motions as Applied to Mixing and Turbulent Flow-I. The Technique," *Chemical Engineering Science*, **40**(2), 269-275(1985).
2. Chang, T. P. K., Watson, A. T. and Tatterson, G. B., "Image Processing of Tracer Particle Motions as Applied to Mixing and Turbulent Flow-II. Results and Discussion," *Chemical Engineering Science*, **40**(2), 277-285(1985).
3. Dracos, T., *Three-dimensional Velocity and Vorticity Measuring and Image Analysis Techniques*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht(1996).
4. Fryer, J., Mitchel, H. and Chandler, J., *Applications of 3D Measurement from Images*, Whittles Publishing, Dunbeath(2007).
5. Russ, J. C., *Image Processing Handbook*, 3rd Ed., CRC Press LLC, Boca Raton(1999).
6. Luhmann, T., Robson, S., Kyle, S. and Harley, I., "Close Range Photogrammetry: Principles, Methods and Applications," Whittles Publishing, Dunbeath(2006).
7. Barnard, S. and Fischler, M., "Computational Stereo," *ACM Comput. Surveys*, **14**, 553-572(1982).
8. Hannah, M. J., "Computer Matching of Areas in Stereo Images," Ph.D. Thesis, Stanford University(1974).
9. Ma, Y., Soatto, S., Kosecka, J. and Sastry, S. S., "An Invitation to 3-D Vision: From Images to Geometric Models," Springer, New York(2006).
10. Pitas, I., "Digital Image Processing Algorithms," Prentice Hall, New Jersey(1993).
11. Sid-Ahmed, M. A., *Image Processing Theory: Algorithms and Architectures*, McGraw-Hill, New York(1995).
12. Lee, J.-S., "Digital Image Smoothing and the Sigma Filter," *Computer Vision Graphics and Image Processing*, **24**, 255-269(1983).
13. Gonzalez, R. C. and Woods, R. E., *Digital Image Processing*, Addison-Wesley, New York(1992).
14. Marr, D. and Hildreth, E., "Theory of Edge Detection," *Proc. R. Soc. London*, **B 207**, 187-217(1980).
15. Wang, Y. F. and Cheng, D. I., "Three-dimensional Shape Construction and Recognition by Fusing Intensity and Structured Lighting," *J. Pattern Rec. Soc.*, **25**(12), 1992.