

비디오 시스템과 영상매칭에 의한 운동물체의 거동측정 Measurements of the Trajectories of Moving Objects with Video System and Image Matching

이창경* · 조우석**

Lee, Chang Kyung · Cho, Woo Sug

要 旨

평면 이미지로부터 3차원 정보를 구하기 위해서는 스테레오 이미지가 필요하고, 움직이는 물체의 거동을 3차원으로 측정하기 위해서는 스테레오 이미지의 정확한 동기화가 필수적이다. 또한, 연속적인 거동측정을 위해서는 동시 촬영한 연속 스테레오 이미지가 필요하고, 위치추적의 자동화를 위해서는 영상 매칭이 그 해결책이다. 본 연구에서는 한 대의 비디오 카메라로 움직이는 물체의 연속 스테레오 이미지를 촬영하여, 영상 매칭에 의해 동일 대상물 및 동일 축점의 중심위치를 결정하고, DLT에 의해 3차원 위치를 해석하는 방법을 제시하였다.

ABSTRACT

In order to extract 3-dimensional information from 2-D image, stereo images are prerequisite. Moreover, for the measurement of moving objects, the synchronized sequential stereo images have to be captured and image matching should be implemented for determining the location of moving objects. In this research, a simple method computing 3-dimensional coordinates from sequential images of moving objects was implemented. The sequential stereo images were captured by a video camera with a beam splitter. Once video images were digitalized by frame grabber, the interest points were extracted and matched in each stereo image, and the coordinates of center of them are calculated using weighted average method. Then, 3-dimensional coordinates of moving objects were computed by DLT algorithms.

1. 서 론

근접 지상 사진측량은 대상물에 접촉하지 않고 정밀 3차원 좌표를 측정하는데 적합하다. 이 분야의 연구는 대부분 정적 3차원 위치 측정에 집중되어 왔으며, 구조물의 변위 조사, 항공기 및 선박조립, 건축, 고고학, 의학분야 등에 응용되어 좋은 결과를 보여주고 있다. 그러나 연속적으로 움직이는 대상물에 대한 측정은 연속사진촬영과 대용량의 자료처리 때문에 기존의 필름 카메라에 의한 방법으로는 해결하기 힘든 과제였다.

짧은 주기로 촬영되는 수치영상을 처리하여 정확하고 신뢰 할 수 있는 측정정보를 구하기 위해서는 기술자를 대신한 자동화가 필수적이다. 최근의 고체촬영소자(CCD),

수치화상처리기술 및 컴퓨터의 발전은 사진측량의 공정을 자동화 할 수 있는 기반을 마련하여 주었다. 비디오 카메라와 프레임 그래버를 이용한 대상물의 형상 또는 거동측정은 사진측량분야뿐만 아니라 컴퓨터 비전, 로봇 공학, 의학 등의 분야에도 중요하다.

동적 거동측정을 위해서는 센서의 검정과 3차원 위치해석 알고리즘 외에 짧은 주기로 촬영하는 고해상도 센서 및 영상자료를 고속으로 처리하여 측정대상을 효율적으로 분석할 수 있는 자동화된 화상처리시스템이 필요하다. 기존의 필름 카메라와 비교할 때, 비디오 카메라는 텔레비전 표준방식의 연속 비디오 영상을 제공한다.

사진측량학적 동적 거동 측정시스템에 대한 선행연구는 Baltsavias & Stallmann(1991)이 사람의 보행자세와 경로 추적에 비디오 카메라를 이용하였고, Gruen(1992)은 탁구로봇용 시각장치로 탁구공의 궤적을 계산하는 시험용 시스템을 연구하였으며, Laurin(1993)은 우주선 동체의 무중

*군산대학교 토목환경공학부 부교수

**인하대학교 토목공학과 조교수

력 상태 모의시험에서 CCD카메라를 동체 각 부분들의 거동측정에 이용하여 1 픽셀 이내의 정확도로 그 움직임을 측정 가능함을 보였다.

국내에서는 비측정용 카메라로 촬영한 사진좌표로부터 DLT기법에 의해 지상좌표를 구하는 연구(박홍기, 1982), 수치사진측량의 영상 재배열에 관한 연구(유복모 외, 1992), CCD 카메라의 렌즈 왜곡수차보정에 관한 연구(안기원, 문명상, 1993), CCD 영상획득시스템에 의한 피사체의 변위측정(강준목 외, 2000), CCD카메라를 이용한 근거리 산업사진측량(이진덕, 2001)에 관한 연구가 있었다. 한편, 이창경(1985)은 사진측량을 이용한 교량의 정적변위측정에 대한 연구에 이어, 비디오 카메라, VCR, 프레임 그래버 및 이미지 처리 소프트웨어를 조합한 비디오 시스템을 구성하고, 이 시스템에 대한 기초성능시험과 승차, 시동, 출발과정의 자동차에 대한 비디오 이미지를 2대의 카메라로 촬영함과 동시에 VCR에 녹화하여, 프레임 그래버로 연속영상을 수치화하였다. 이들 연속 수치영상으로부터 측정점의 이미지좌표를 이미지처리기법으로 구하고, Direct Linear Transformation 알고리즘을 적용하여, 자동차의 3차원 거동을 평면상에서 1 픽셀이내, 카메라 광축방향에서 2 픽셀이내로 추적하는 연구를 수행한 바 있다(Lee & Faig, 1996).

본 연구의 목적은 비디오 시스템의 연속 수치영상 촬영 기능과 영상매칭기법에 의한 표정을 점목시켜 운동물체의 3차원 위치를 보다 정확하게 추적하는 측정시스템을 개발하는데 있으며, 연구내용은 연속 영상의 촬영 및 수치화, 이들 수치영상으로부터 측정점의 인식, 표정 및 3차원 위치추적이다.

2. 비디오 입체영상의 수학적모델

2.1 비디오 영상의 좌표체계

비디오 영상의 픽셀좌표계는 좌측상단 모서리를 원점으로 하여 수평방향의 열(row)과 수직방향의 행(column)으로 정의된다. 비측정용 비디오카메라 영상에는 지표가 없으며, 비디오카메라와 프레임 그래버에 따라 변하기 때문에 주점을 확인할 수 없다. 측정점의 좌표는 2.2절에 기술한 방법에 의하여 우선 픽셀좌표를 구하고, 식 (2-1)에 의하여 영상좌표로 변환하였다. 영상좌표의 원점은 영상의 중심에 있는 것으로 가정하였으며, 이때 픽셀좌표계와 영상좌표계간의 관계는 그림 1과 같다.

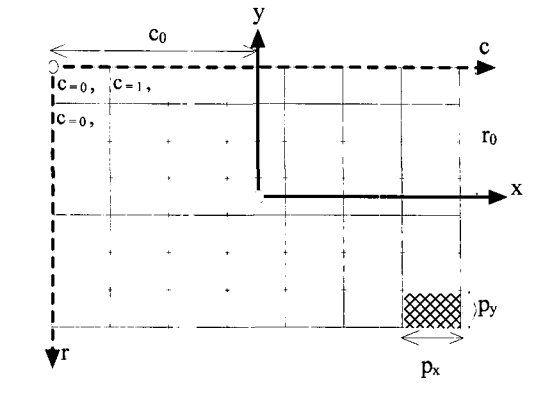


그림 1. 픽셀과 영상좌표체계

$$\begin{aligned} x_i &= (c_i - c_0) \times p_x \\ y_i &= -(r_i - r_0) \times p_y \end{aligned} \quad (2-1)$$

여기서 x_i, y_i : 측정점 i 의 영상 좌표
 c_i, r_i : 측정점 i 의 픽셀좌표
 c_0, r_0 : 가상 주점의 픽셀좌표
 p_x, p_y : 픽셀의 가로, 세로 크기

2.2 측정영상의 중심좌표

수치영상에서 기준점과 측정점의 중심픽셀좌표는 후속 자료처리과정에 그 오차가 전파되기 때문에 기본단위 이하까지 정밀하게 구하여야 한다. 특정 형태의 측정표지 영상의 중심픽셀좌표를 기본단위이하의 정밀도로 구하는 방법은 무게중심법(Wong & Ho, 1986), 인공표지를 이용한 최소제곱 매칭법 및 경계선법(Farstner, 1982, 1987) 등이 연구되었다. Trinder(1995)에 의하면 평면 원형 측정표지에 대해서는 가중무게중심법(Weighted Centroid Method)이 다른 두 방법에 비해 간단하면서도 우수한 정밀도를 보여준다고 하였다.

Wong & Ho(1986)는 측정 중심의 픽셀좌표를 구하기 위해 이진 분류된 표지영역에 대한 무게중심법을 연구하였다. 측정점을 중심으로 한 사각형 창을 전체 이미지에서 잘라내어, 특정 경계값을 기준으로 이진분류한다. 이때에 사용된 경계값은 (측점 창의 최소 화소값 + 측정 창의 평균 화소값)/2가 사용되었다. 이 방법으로 구한 측정중심 픽셀좌표는 측정 창의 크기, 표지 창의 측정에 대한 위치, 경계값에 따라 다소 변한다.

Trinder(1989)는 Wong & Ho(1986)가 제안한 측정중심

픽셀좌표 방법에 비중개념을 추가하였다. 측정 창을 특정 경계값을 적용하여 이진분류하고, 경계값 이상의 화소값은 측정중심 픽셀좌표계산시 비중으로 활용하여, 측정중심의 높은 화소값이 측정주변부의 낮은 화소값보다 측정중심 픽셀좌표에 더 큰 영향을 미치도록 하였다. 다음 식(2-2)는 이와 같은 개념에 따라 Trinder(1989)에 의해 제안된 중심좌표 계산식이다.

$$\begin{aligned} c &= \frac{1}{m} \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^l j * g_{ij} * w_{ij} \\ r &= \frac{1}{m} \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^l i * g_{ij} * w_{ij} \\ m &= \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^l g_{ij} * w_{ij} \end{aligned} \quad (2-2)$$

여기서 g_{ij} : 픽셀(i, j)의 이진화소값(0, 1)
 w_{ij} : 픽셀(i, j)의 비중
 k, l : 측정 창의 행렬 수

2.3 입체영상의 3차원 좌표결정

기존의 사진기준점측량에서 사진영상으로부터 3차원 좌표를 결정하는 방법은 다항식법, 독립모델법, 번들법으로 분류할 수 있다. 번들법의 자료 기본단위는 한 쌍의 사진좌표(x, y)이며, 이들 사진좌표로부터 측정의 지상좌표와 카메라 표정요소를 동시조정법에 의해 구한다. 이 방법은 순차조정법이나 독립모델법과는 달리 3차원 좌표를 상대표정 및 절대표정을 구분하지 않고 구한다. 결과적으로 번들법으로 구한 지상좌표와 그 오차는 모든 보정요소를 다 고려하였다는 점에서 보다 엄밀성이 있다. 반면에 계산과정은 반복법이 적용되며, 이때에 카메라 표정요소 및 측정의 지상좌표에 대한 초기값이 필요하다.

사진좌표에는 렌즈와 영상 투영면의 불완전으로 인한 왜곡이 포함되어 있으며, 사진기준점측량의 수학모델에는 이들 왜곡을 보정하는 항이 포함되어 있다. 이들 오차를 소거하기 위한 검정기법은 사진검정, 현장검정, 자가검정으로 구분된다(Faig, 1975). 이 중에서 자가검정이 가장 엄밀한 방법이며, 내부표정요소를 구하는데 있어 기준점들에 의존하지 않고 두 장 이상의 영상에 중복되어있는 미지점들의 투영관계를 이용하는 점에서 다른 방법들과 다르다. 다시 말해서 자가검정은 전체 블록에 대한 절대표정에만 수평 2점, 표고 3점의 기준점을 필요로 하고, 그 이외에는 지상기준점을 필요로 하지 않는다. 또한, 자가검정은 렌

즈의 지름방향 대칭형 및 비대칭형 왜곡, 접선방향 왜곡까지 보정할 수 있도록 확장되었다. 이처럼 추가요소를 포함하는 번들법을 자가검정이라 한다.

번들법에서 정오차를 소거하기 위해 수학모델에 도입된 왜곡요소에 따라, 렌즈의 규칙형 왜곡은 다음 유형으로 표현된다. 그 첫째는 영상의 왜곡을 렌즈와 영상면의 왜곡요소로 분해하는 방법이다. 이 방법은 이미지의 왜곡에 영향을 미친 요소를 물리적으로 해석할 수 있다는 가정아래 특정 왜곡요소에 대한 수학모델을 예측하는 방법이다. 한편 영상왜곡을 초래한 왜곡요소를 물리적으로 확연하게 해석할 수 없을 때에는 개별적인 왜곡요소를 무시하고 복합된 왜곡을 고려한다.

위에서 살펴 본 자가검정법들은 항공사진처럼 영상의 내부표정요소가 전체 영상에서 동일한 항공사진을 주요 대상으로 하고 있다(블록-불변 자가검정). 그러나 비측정용 카메라, 특히, 비디오 카메라의 이미지는 이미지마다 내부표정요소가 변할 수 있으므로, 이미지마다 고유한 내부표정요소를 고려한 모델이 바람직하다. 이와 같은 블록가변 자가검정법은 계산과정이 더 복잡하지만 카메라나 이미지에 상관없이 적용할 수 있는 일반자가검정이다.

비측정용 카메라는 내부표정요소가 전혀 또는 부분적으로 규명되지 않았으며, 쉽게 변한다(Faig, 1975). 대부분의 비디오 카메라는 비측정용에 속한다. 비측정용 카메라는 렌즈의 반지름방향 왜곡이 크고 불규칙하여 정밀한 결과가 필요한 목적으로는 적합치 않다(Karara, 1980). 또한 비측정용 카메라는 이미지에 지표가 없기 때문에 기존의 항공사진측량용으로 개발된 렌즈 검정 및 3차원 좌표결정기법은 적용에 제약이 따른다. 이런 연유로 지표가 없는 스테레오 영상으로부터 곧바로 3차원 좌표를 구하는 기법이 개발되었다. 근년에 공선조건을 근간으로 Direct Linear Transformation (Abdel-Aziz & Karara, 1974, Fraser, 1982) 및 Self-calibrating Bundle Adjustment(Moniwa, 1977, Fraser, 1982) 등이 근점사진측량용으로 개발되었으며, 이들 기법은 지표가 없는 영상처리가 가능하다. Lee & Faig(1996)는 비디오 스테레오 영상의 3차원 좌표해석에 DLT와 UNB Analytical Self-Calibration Method(UNBASC2)를 이용한 연구를 수행하였으며, 두 기법은 비슷한 정확도를 보였으나, DLT가 더 이용하기 편리하였기 때문에 본 연구에서는 DLT를 이용하였다.

3. 영상 매칭

3.1 영역기준매칭

영상매칭은 수치영상을 이용하여 3차원 정보를 추출하기 위해 가장 중요하며, 아직까지 완벽하게 해결하지 못한 분야이다. 매칭기법은 그 자체가 Ill-Posed Problem이므로 컴퓨터가 자동으로 결과를 제공하기 위해서는 많은 가정과 Constraint가 필요하다. 다시 말해서 Domain Dependent 한 문제라고 말할 수 있다. 기존에 개발된 매칭기법은 크게 3가지(Area-based, Feature-based & Relational matching)로 분류할 수 있으며, 서로간에 장단점이 있다.

영역기준매칭(Area-based Matching)은 매칭기법으로 처음 개발되었으며 이론적으로 단순하여 적용하기에 가장 용이한 기법이다. 수치영상에서 가장 기본적인 정보인 픽셀값만을 사용하므로 초기근사값이 필요하며 초기근사값이 잘못된 경우에는 엉뚱한 결과를 제공하기도 한다. 그러나 영역기준매칭은 다른 방법에 비하여 높은 정확도를 얻을 수 있다. Mask에 충분한 정보를 포함하고 있다면, 최소제곱매칭으로는 1/20 화소 또는 그 이상의 정확도를 얻을 수 있고, Cross-correlation matching으로는 보간법이 적용되면 subpixel정확도를 역시 얻을 수 있다.

영역기준매칭은 픽셀의 음영값만을 사용하기 때문에 다른 방법에 비하여 컴퓨터계산 소요시간이 길다. 또한, 잡음이나 non-linear radiometric과 geometrical difference에 영향을 많이 받으며, 반복되는 형태에서는 다중해가 발생할 수 있다.

1) 상관계수

상관계수 매칭은 입체영상에서 동일한 크기의 윈도우에 대한 상관성을 계산하여 상관계수가 일정값 이상이면 윈도우 중심이 동일한 점인 것으로 판단하는 것으로서 오류가 발생할 가능성이 매우 크며, 막대한 계산시간이 소요된다. 따라서 이 방법을 단독적으로 사용하는 것은 곤란하며 공액점의 위치가 어느 정도 예측될 경우에 한해서 적용이 가능하다(Ebner 1988).

상관계수 매칭에서는 입체영상의 좌측영상에서 정합 대상점을 중심으로 $M \times N$ 크기의 기준윈도우를 설정하고, 우측영상에서 그에 대한 공액점의 위치를 예측하여 탐색영역을 설정한다. 다음에 탐색영역의 임의의 한 점(m,n)에 대해 그 점을 중심으로 하고 기준윈도우와 같은 크기의 비교윈도우를 설정할 경우에 상관계수를 계산할 수 있다.

2) 최소제곱매칭

최소제곱 매칭은 입체영상에서 각 윈도우 사이의 영상소 값의 차이의 제곱의 합이 최소가 되는 점을 공액점으로 결정하는 방법이다. 입체영상은 두 영상의 외부표정요소가 다르므로 동일한 대상물에 대해 기하학적 차이가 존재하게 되며 사진처리과정에서 밝기값의 변화도 발생하게 된다. 따라서 기준윈도우의 크기를 $M \times N$, 기준윈도우에서의 영상소 값을 $G_w(x_w, y_w)$, 탐색윈도우에서의 임의의 비교윈도우의 영상소 값을 $G_s(x_s, y_s)$, 탐색영역에서의 근사위치에 있는 영상소 값을 $G_s^o(x_s^o, y_s^o)$ 라고 하면 영상소 값의 차이가 최소가 되는 (x_s, y_s) 를 결정하므로써 공액점을 구할 수 있다(Heikkila 1989).

$$G_w(x_w, y_w) - G_s(x_s, y_s) = e(x, y) \quad (3-1)$$

위의 식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$G_w(x_w, y_w) - e(x, y) = G_s^o(x_s^o, y_s^o) + G_{s_x} dx_s + G_{s_y} dy_s \quad (3-2)$$

여기서, G_{s_x} , G_{s_y} 는 x 및 y 방향의 영상소 값의 변화량이며 다음과 같은 식으로 나타낸다.

$$G_{s_x} = \frac{\partial S_x^o(x_s^o, y_s^o)}{\partial x_s}, \quad G_{s_y} = \frac{\partial S_y^o(x_s^o, y_s^o)}{\partial y_s}$$

기준윈도우와 비교윈도우 사이의 기하학적 관계를 affine 변환으로 가정할 경우에 다음과 같이 기하학적 변환을 설정할 수 있다.

$$\begin{aligned} x_s &= a_1 + a_2 x_w + a_3 y_w \\ y_s &= a_4 + a_5 x_w + a_6 y_w \end{aligned} \quad (3-3)$$

따라서 다음과 같은 관측방정식이 성립된다.

$$\begin{aligned} G_w(x_w, y_w) - e(x, y) &= G_s^o(x_s^o, y_s^o) + G_{s_x} da_1 + G_{s_x} x_s da_2 \\ &+ G_{s_y} y_s da_3 + G_{s_y} da_4 + G_{s_x} x_s da_5 \\ &+ G_{s_y} y_s da_6 \end{aligned} \quad (3-4)$$

기준윈도우와 비교윈도우에 대응하는 각 영상소에 대해

관측방정식을 구성하고 이를 최소제곱법에 의해 잔차가 최소가 될 때까지 조정함으로써 공액점을 결정할 수 있다.

3.2 영상매칭전략

1) 영상 피라미드 생성

영상 피라미드는 다양한 필터를 적용하여 순차적으로 저해상도의 영상을 제작하므로서 구축될 수 있다. 영상 피라미드를 제작하는 이유는 저해상도에서 매칭을 시작하여 고해상도 영상으로 순차적으로 매칭을 실시하여 매칭의 전체 공정을 가속화하기 위함이다. 일반적으로 해상도를 1/2씩 감소시켜 최상부의 영상이 일정 크기로 감소될 때까지 반복하여 영상 피라미드를 제작한다. 이때 subsampling 된 저해상도의 영상은 가급적 원영상의 전체적인 특성을 보전할 수 있어야 한다. 영상 피라미드의 제작에 적용되는 필터는 일반적으로 이동평균법과 Gaussian Filter 등이 적용된다.

* 이동평균법 : 상하좌우의 4 영상소의 산술평균을 이용하므로 간단히 평균법이라고도 부른다.

* Gaussian filter : Gauss 함수는 그 함수에 대한 Fourier 변환도 역시 Gauss 함수가 되는 특성을 가지고 있다. 따라서 공간영역에서의 일정한 크기의 윈도우가 주파수 영역에서 무한한 크기가 되거나 또는 그 반대로 나타나는 필터링에서의 문제점을 극복할 수 있다. 2차원 가우스 변환은 다음과 같이 정의된다.

$$g(x, y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} e^{-(x^2+y^2)/2\sigma^2}$$

$$G(\mu, \nu) = e^{-(\mu^2 + \nu^2)/2\sigma^2} \quad (3-5)$$

Gaussian filter는 이동평균법에 비해 처리속도가 느리지만 원영상의 특성을 잘 보전하므로 가장 양호한 영상피라미드를 구성할 수 있다. 영상피라미드의 예는 그림 2와 같다.

2) 특이점 추출

건물의 모서리나 교차로의 도로교차점 등은 사진 측량의 기본처리 과정에서 많이 사용되어온 특이점들이다. 기존의 사진 측량에서는 이와 같은 점들을 숙련된 기술자에 의해서 추출하였으나, 수치사진측량이나 컴퓨터비전에서는 수치영상을 사용함으로써 컴퓨터에 의해서 특이점을 자동으로 추출할 수 있다. 가장 많이 사용되어지고 있는 특이점 추출연산자는 Moravec 연산자로 Forstner 연산자에 비하여 빠른 장점을 가지고 있다. 그러나 단순히 연산자

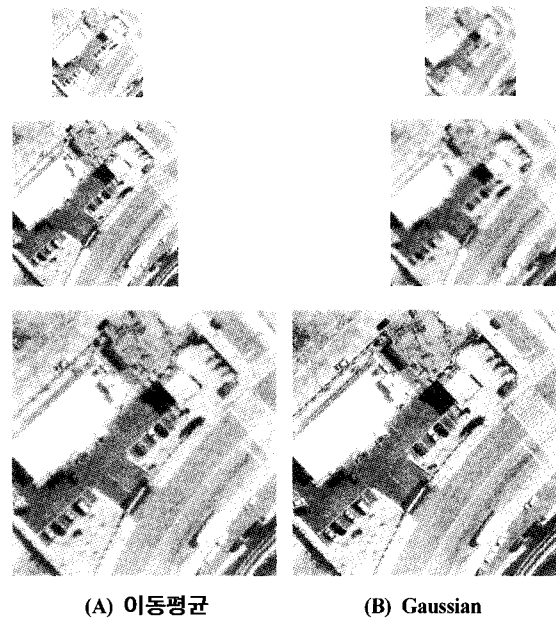


그림 2. 영상 피라미드 예

의 Mask내에 존재하는 Pixel 값을 사용하므로 의미 없는 점들이 추출되며 추출된 점에 대한 정보가 없는 단점을 가지고 있다.

이와는 달리 Forstner 연산자는 Mask 내의 Pixel 값을 이용한 수학적 모델링에 기초하여 특이점을 추출하므로 구해진 점들에 대한 정보를 가지고 있으며 Moravec 연산자보다는 의미 있는 특이점들을 제공한다. 단점으로는 수학적 모델링에 의한 기법이므로 처리속도가 Moravec 연산자보다는 느리다. 직선 및 원형의 추출은 영상처리분야에서 초기에 가장 많이 연구된 분야이며 현재도 연구가 진행되고 있다.

본 연구에서는 3단계의 영상 피라미드를 이용하여 Forstner 연산자에 의해 원형 형상을 추출하고자 한다. 추출된 형상은 Binarization과 8-connectivity Region Growing을 이용하여 개별 형상으로 분류된다.

3) 매칭 및 측점의 좌표계산

본 연구에서 사용할 영상은 복잡한 실세계가 아닌 통제된 단순 데이터를 추출하여 처리하므로 영상 매칭은 단순 영역 기준매칭 방법을 적용하여 두 영상에서 형상의 대응점을 추출하였다. 식 (2-2)에 의해 추출된 형상의 중심좌표를 계산하고, DLT를 적용하여 형상의 3차원 좌표를 계산하였다.

4. 실험 및 결과분석

4.1 실험계획 및 시스템구성

비측정용 카메라를 측정용으로 사용할 때에는 영상부터 데이터를 처리하는데 필요한 카메라의 규격을 알 수 없는 애로사항이 있다. 따라서 영상으로부터 3차원좌표 해석에 앞서 비디오 카메라의 규격과 비디오 이미지의 특성에 대해서 조사해야 한다. 이 조사의 목적은 첫째, 구축된 비디오 시스템이 빠르게 조직되어 제대로 작동을 하는지의 여부를 파악하고, 둘째, 비디오 시스템의 광학적 특성을 분석하는데 있다. 이를 위해 다음과 같이 기본적인 비디오 시스템을 구축하고 실험하였다.

비디오시스템은 촬영장비인 비디오카메라, 수치영상 획득 및 처리장치인 PC와 PC용 프레임그래버로 구성되었다(표 1). 이들의 공통적인 특징은 시스템구축의 비용이 저렴하고, 부품공급이 원활하며, 신제품의 출시기간이 짧을 뿐 아니라, 사용이 용이하다. 반면에 카메라의 규격을 확실하게 알 수 없을 뿐만 아니라, 경우에 따라 바뀌며, 이미지에 지표가 없고, 카메라를 임의의 지점과 방향으로 정확히 위치시키기 어렵다. 즉, 측정용으로서의 성능이 떨어진다는 점이다.

표 1. 비디오측정시스템 구성

| Hard/Software | Model / Maker |
|-----------------|----------------------|
| Video Camera | H-33 / Samsung |
| Frame Grabber | Ultra II / Coreco |
| Beam Splitter | 실험용 / 군산대 |
| PC | D52 / LG IBM |
| Image Processor | IDRISI / Clark Univ. |

위와 같이 구성된 장비를 이용하여 비디오 시스템의 특성을 분석 보정하고, Beam Splitter와 프레임 그래버를 이용한 스테레오 연속 이미지를 촬영하여 운동물체의 3차원 위치를 구하는 실험 및 결과분석의 진행은 그림 3과 같다.

4.2 스테레오 비디오 영상촬영

1) 실험모델 및 촬영조건

본 연구의 궁극적인 목적인 운동물체의 거동측정을 위한 기본 데이터는 연속된 동시 촬영 스테레오 영상이다. 이때의 운동물체로는 평판에서 반동하는 탁구공을 선정하였다. 탁구공은 그 형상이 구형이고, 색상이 선명하여 식별이 용이할 뿐 아니라, 그 반동이 분명하고 규칙적이어서 실험결과를 평가하는데 적합하다. 연속된 영상획득을 위한 장비는 비디오 카메라와 동영상을 초당 30 프레임씩 JPEG포맷으로 압축 저장하는 기능을 가진 Frame Grabber와 외부 및 내부반사경의 광로분할로 이미지 양면에 스테레오 영상을 생성시키는 Beam Splitter를 사용하였다(Lee, 2001). 실험은 촬영환경을 일정하게 유지할 수 있는 실내에, 카메라, Beam Splitter, 탁구공 반동 평판 및 기준점판을 그림 4와 같이 배치하고, 일정한 조도를 유지하기 위해 창문에 차광막을 치고, 천장 형광등과 보조 조명장치를 카메라 광축방향으로 배치하였다. 그리고 탁구공을 쉽게 식별할 수 있도록 탁구공 평판 뒷면에 흑색커튼을 장치하였다.

비디오 카메라는 수동초점기능으로 촬영 대상물이 명확한 영상을 맺도록 초점을 맞추었으며, 비디오 신호는 Composite Color Mode로 프레임 그래버에 입력되도록 하였다. 탁구공을 평판의 카메라쪽 좌측모서리에서 뒤쪽 우측모서리 방향으로 반동하며 나아가도록 던지는 순간, 프레임 그래버의 연속영상캡처기능을 마우스로 시동시켜,

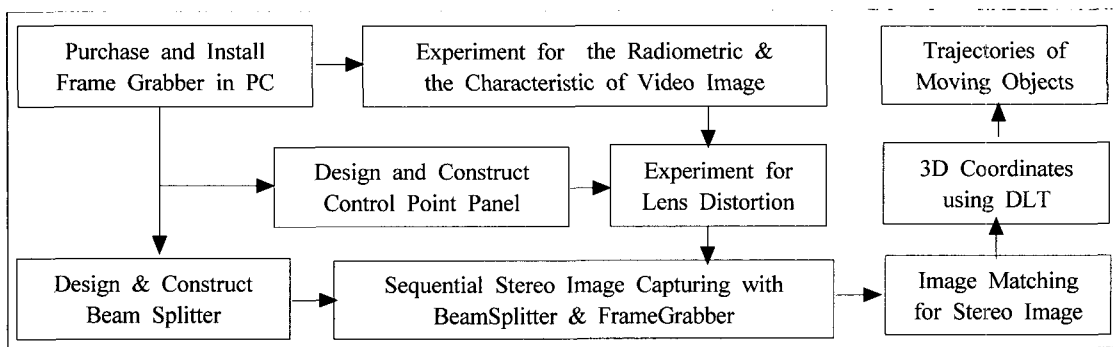
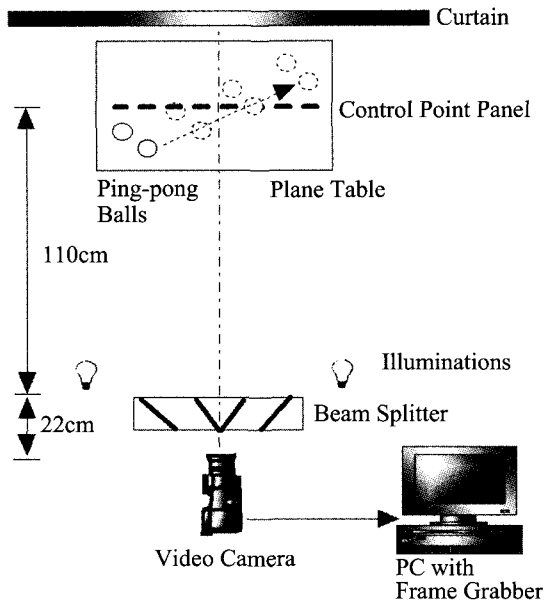
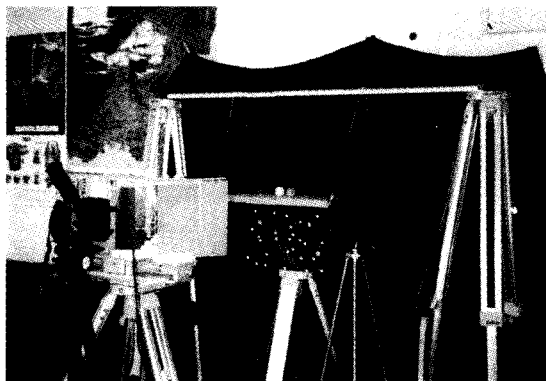


그림 3. 비디오시스템에 의한 동적거동측정 과정



(A) 평면 배치도



(B) 실험광경

그림 4. 연속입체촬영 비디오시스템 실험 세트

초당 30 프레임의 연속 영상을 약 2초간 하드디스크에 JPEG 포맷으로 저장하였다. 본 연구에서 채택한 좌표계는 X축은 기선방향, Z축은 비디오 카메라 광축방향, Y축은 연직방향이다.

2) 기준점 판

렌즈의 현장검정과 스테레오 영상표정을 위해서는 그 3차원 좌표를 알고 있는 기준점이 7점 이상 필요하다. 이를 위해 L36cm×W26cm×H1.2cm의 강판에 31개의 기준점을 만들었다. 기준점의 평면상 배치는 원과 직선을 조합한

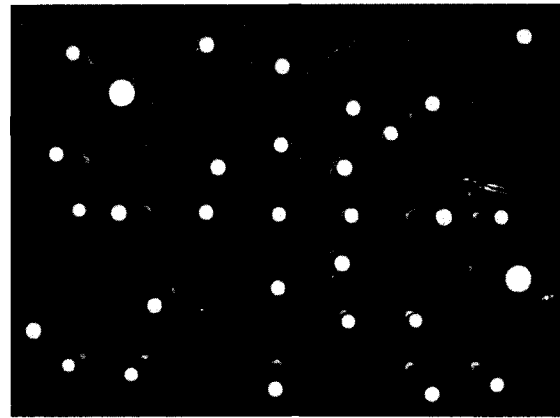


그림 5. 기준점 판의 비디오 영상

기하학적 도형의 교차점이며, 기준점을 3차원적으로 구성하기 위해 기준점 봉의 높이를 2cm부터 12cm까지 다양하게 하였다. 기준점의 3차원좌표는 대전 중소기업청 기술지원센터에 의뢰하여 3차원 좌표 측정기(Merit 750/ Ferranti International)에 의해 1 μ m 정밀도로 측정하였다. 그림 5는 본 연구에서 제작한 기준점 판의 비디오 이미지로, 기준점 판의 빛 반사를 막기 위해 강판의 상면은 검은색 종이를 덮고, 기준점 봉의 상단 중앙에 백색 원형표지를 붙여, 그 중심위치좌표를 구할 때 배경과 선명히 구별되게 하였다.

3) Beam Splitter에 의한 입체영상촬영

종래의 정지물체의 3차원 측정을 위한 스테레오 영상은 카메라 하나로 일정 기선만큼 이동하여 촬영함으로써 획득할 수 있었으나, 측정 대상이 시간에 따라 움직이는 경우에는 카메라 1대로 동시에 두 지점에서 촬영할 수 없다. 동적 대상에 대한 3차원 위치해석을 위해 이와 같은 장애를 극복하기 위해 단일 카메라에 의한 스테레오 이미지 촬영법으로 반사거울 이용법(Faig, 1972), Beam Splitter 이용법(van Wijk & Ziemann(1976), Ivar(1992), Lu Jian et al. (1992))과 스테레오 카메라에 의한 스테레오 이미지 사후동조법(Baltsavias & Stallmann, 1991)이 연구된 바 있다. 본 연구에서는 단일 카메라에 의한 스테레오 이미지 획득을 목표로 하였으며, 이를 위한 장치인 광로분할장치(beam splitter)의 기하학적 원리와 그 광학적 수확모델을 개발하고, 이에 근거하여 시제품을 설계 제작하였으며, 이에 대한 상세한 내용은 Lee(2001)를 참고하기 바란다.

4) 프레임 그래버 - 연속수치영상획득

본 연구에 사용된 프레임 그래버(Ultra II/Coreco Co.)는 Intel Pentium급의 PC에서 PCI Local Bus Slot에 장착되며, PCI Burst Mode 자료전송기법을 사용하는 A/D 변환기이다. 아날로그 비디오 신호(NTSC, PAL)를 Composite Color, S-VHS, RGB중의 한 모드로 입력받아 640*480 해상력의 정지화상을 BMP, TIF포맷으로 저장할 수 있다. 또한, TCI-MPEG 압축모듈을 부가하면 30프레임/초의 속도로 320*240 연속화상을 JPEG포맷으로 RAM 또는 하드디스크에 저장한다.

본 실험에서는 평판 위에 던져진 백색 및 황색 탁구공이 약 2초 동안 반동하는 움직임을 Beam Splitter를 장치한 비디오 카메라로 촬영하여, Composite Color로 출력 받아 JPEG포맷으로 하드디스크에 저장하였다. 이중 촬영시작과 끝 부분의 탁구공의 움직임이 없는 이미지 프레임을 제외한 49 프레임을 BMP포맷으로 역 변환하여 영상매칭의 입력 데이터로 활용하였다.

4.3 영상매칭에 의한 동일점 탐색 및 축점의 중심좌표 결정

1) 영상 피라미드구축 및 Binarization

본 연구에서 사용한 수치영상의 크기는 240(row)×320(column)이며, Gaussian function을 이용하여 영상피라미드를 구축하였다. 이와 같이 구축된 영상 피라미드를 Binarization (gray value = 128) 및 Region growing을 이용하여 수치영상에서 Background와 Feature를 각각 분리시키는 과정을 수행한 결과는 그림 6과 같다.

2) 형상추출과 중심좌표계산

Binarized된 영상피라미드 중에서 가장 해상도가 낮은 영상부터 특이점 추출연산자를 적용하여 특이점을 추출한다. 추출된 특이점은 순차적으로 높은 해상도의 영상에서 Region growing을 이용하여 형상의 경계를 결정한다. 이와 같이 얻어진 영상과 원래 영상을 이용하여 추출된 Feature의 중심을 가중무게중심법을 이용하여 계산한다. 그림 7은 가중무게중심법을 이용하여 계산된 축점의 중심 및 좌표를 나타낸다.

4.4 정지영상 축점의 3차원좌표와 동영상 축점거동 추적

1) DLT에 의한 3차원 좌표측정

* 렌즈왜곡수차 보정계수의 선정

Marzan & Karara(1974)에 의하면 DLT에서 고려한 대

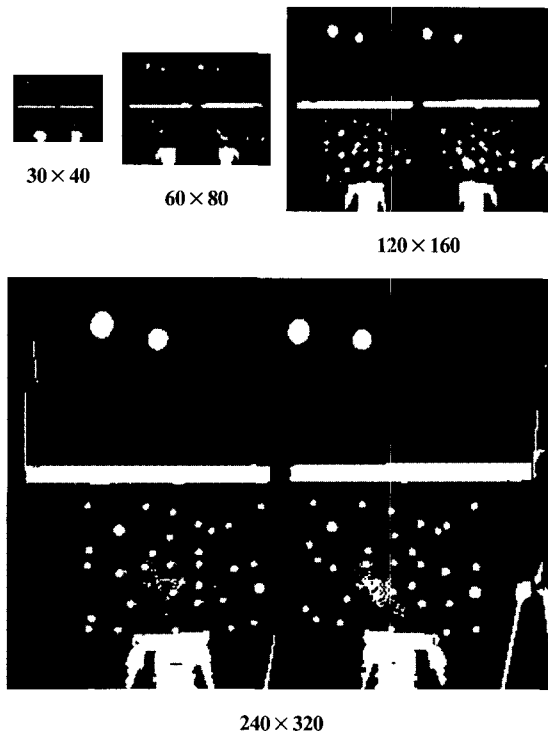


그림 6. 이진 피라미드 영상

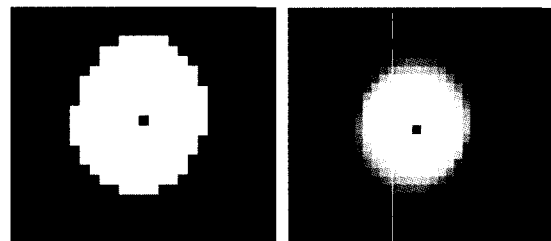


그림 7. 가중무게중심법에 의한 축점중심좌표 1

칭형 렌즈왜곡수차 보정계수(K_1, K_2, K_3)와 비대칭형 렌즈 왜곡수차 보정계수(P_1, P_2)중 K_1 만이 실질적으로 효과가 있다. 본 실험에서 획득한 연속 이미지에서는 기준점판은 고정되었다고 가정하고, 각각의 연속이미지에서 탁구공만이 변위하였다고 가정하여 DLT의 렌즈왜곡수차 보정계수를 0, 1(K_1), 3(K_1, K_2, K_3), 5(K_1, K_2, K_3, P_1, P_2)로 차례로 증가시켜가며, 기준점 및 미지점에서의 표준오차의 양상을 분석하여 보았다. 기준점 31개중 1점이 평판과 겹쳐 제외하고 초기 기준점이 30점일 때와, 이를 이용한 DLT적용 결과 가장 큰 오차를 보인 기준점 3점 및 6점을 제외시키고 기준점(27점 및 24점)을 DLT에 적용하였을 때, 영상좌

표 2. 단위표준오차

| 기준점 수 | 렌즈왜곡 보정계수 | 0 | | K ₁ | | K ₁ , K ₂ , K ₃ | | K ₁ , K ₂ , K ₃ , P ₁ , P ₂ | |
|-------|-----------|-------|-------|----------------|-------|--|-------|--|-------|
| | | 좌 | 우 | 좌 | 우 | 좌 | 우 | 좌 | 우 |
| 30점 | | 38.27 | 46.56 | 35.87 | 36.79 | 36.35 | 38.23 | 36.74 | 41.43 |
| 27점 | | 37.72 | 44.81 | 36.63 | 37.71 | 37.32 | 40.49 | 37.27 | 42.23 |
| 24점 | | 35.73 | 42.67 | 33.99 | 36.58 | 35.57 | 39.01 | 32.22 | 42.56 |

표보정에 고려한 렌즈왜곡보정수치의 확대에 따른 좌·우 이미지의 표정에 대한 단위표준오차(Standard Error of Unit Weight)의 변화를 표 2에서 보여주고 있다. 과대오차를 보이는 기준점의 제외에 관계없이 렌즈왜곡수치 보정계수는 K₁만을 고려한 경우가 좌·우 영상의 표정에 대해서 항상 작은 표준오차를 보여 주고 있음을 알 수 있었다. 따라서 이후의 오차평가에는 K₁만이 포함된 DLT계산결과를 기준으로 하였다.

* 최적 기준점의 결정
DLT에 기준점 판의 전체 기준점인 30점을 기준점으로

하여 구한 각각의 기준점에 대한 정확도는 균일하지 않았다. 이것은 기준점 판의 좌표측정에 오차가 있었거나(혹은 좌표측정 후, 기준점에 변위가 있었거나) 비디오 카메라의 잡음, 또는 이미지 매칭과정에서의 오차 등이 누적되어 나타났거나, DLT의 모델의 부적합성에 기인할 수도 있다. 본 연구에서는 그 원인을 밝혀낼 수는 없었지만, 렌즈왜곡수치 K₁을 고려한 경우에 최대오차를 보이는 기준점을 차례로 소거하여가며, 미지점의 표준오차가 가장 작은 경우를 추적하였다. 표 3에서 보는 바와 같이 기준점 6점(5, 4, 8, 12, 18, 19)을 제외한 경우에 가장 작은 오차를 보이므로 DLT에서 기준점 24점만을 취하고, 렌즈왜곡수치 K₁

표 3. 기준점선택에 따른 표준오차

Lens Distortation Parameter in DLT : K₁
미지축점 수 : 70

| 기준점 수 | 제외된 기준점 번호 | 표준오차(mm) | | | |
|-------|---------------------------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------|--------------------------|
| | | X | Y | Z | Point |
| | | 총오차 (기준점, 미지점) | 총오차 (기준점, 미지점) | 총오차 (기준점, 미지점) | 총오차 (기준점, 미지점) |
| 30 | 전체 | 4.296 (7.61, 1.23) | 4.853 (8.72, 1.04) | 22.154 (39.22, 6.48) | 23.083 (40.89, 6.67) |
| 29 | 5 | 3.023 (5.28, 1.18) | 3.387 (6.03, 1.09) | 16.147 (28.17, 6.32) | 16.773 (29.29, 6.52) |
| 28 | 5, 4 | 2.725 (4.57, 1.43) | 2.886 (5.02, 1.25) | 14.698 (24.85, 7.45) | 15.224 (25.76, 7.69) |
| 27 | 5, 4, 8 | 2.408 (4.04, 1.32) | 2.535 (4.44, 1.14) | 13.158 (22.32, 6.91) | 13.615 (23.12, 7.13) |
| 26 | 5, 4, 8, 12 | 1.912 (3.41, 0.84) | 2.112 (3.92, 0.64) | 10.923 (19.72, 4.38) | 11.288 (20.39, 4.51) |
| 25 | 5, 4, 8, 12, 18 | 2.013 (3.33, 1.24) | 2.178 (3.94, 0.95) | 11.374 (19.65, 6.14) | 11.754 (20.31, 6.34) |
| 24 | 5, 4, 8, 12, 18, 19 | 1.192 (1.84, 0.87) | 1.306 (2.03, 0.94) | 6.890 (10.72, 4.94) | 7.114 (11.06, 5.10) |
| 23 | 5, 4, 8, 12, 18, 19, 22 | 1.466 (1.61, 1.42) | 1.471 (1.88, 1.31) | 8.085 (9.70, 7.48) | 8.347 (10.01, 7.73) |
| 22 | 5, 4, 8, 12, 18, 19, 22, 11 | 3.215 (2.17, 3.48) | 2.689 (2.58, 2.72) | 16.831 (13.69, 17.70) | 17.345 (14.10, 18.25) |
| 21 | 5, 4, 8, 12, 18, 19, 22, 11, 17 | 3.287 (1.99, 3.59) | 2.667 (2.28, 2.77) | 17.042 (12.54, 18.18) | 17.559 (12.90, 18.73) |

만을 고려하여 미지점의 3차원 좌표를 구하였다.

기지점 및 미지점의 표준오차는 기지점보다 미지점에서 더 작았지만 기지점에 대한 오차는 3차원좌표측정기 좌표와 DLT에서 구한 좌표의 차이로 최소제곱오차(RMSE)이며, 미지점의 오차는 관측값과 최확값으로부터 구한 표준오차(SE)이므로 단순히 그 절대크기로 기준점과 미지점의 오차를 평가할 수는 없다. 단, X, Y축방향 기준점 오차는 약 2mm, Z축 방향 기준점오차는 10mm이고, 미지점에 대해서는 $\sigma_x=0.87\text{mm}$, $\sigma_y=0.94\text{mm}$, $\sigma_z=4.94\text{mm}$ 이다. 촬영거리를 120cm로 볼 때 미지점의 상대오차는 $R_x=R_y=1/1200$, $R_z=1/240$ 이다. 즉, 광축방향에 대한 오차가 영상면 방향보다 5배 크게 나타났다.

2) 운동물체의 3차원궤적

DLT에 의한 스테레오 이미지의 3차원 좌표해석 결과 미지점(백색 및 황색 탁구공)의 표준오차가 가장 작게 되는 기준점 24점을 이용했을 때의 미지점의 3차원 좌표를 최종적으로 구하였다. 이때 사용된 총 프레임은 49개이고, 한 프레임당 미지점이 2개이나 황색 탁구공이 먼저 평판을 벗어나 시야에서 사라졌기 때문에 전체 프레임에서 추적한 백색 탁구공은 49개, 황색 탁구공은 21개이다. 이들의 3차원 좌표를 x축은 시간, y축은 X, Y, Z축 방향의 위치 좌표로 하여 꺾은선 그래프로 나타낸 것이 그림 8이다. 탁구공이 X축 방향에서 직선형(좌측에서 우측으로)으로, Z축방향에서도 직선형으로 멀어지고 있는 반면에, Y축방향(연직방향)으로는 반동하는 모습이 보인다. X축의 궤적은

직선에 가까우나, Z축의 궤적이 약간 구불구불한 현상은 Z축의 표준오차가 더 크기 때문이다.

5. 결 론

입체영상에서 동일 측정의 영상좌표를 찾는 영상매칭, 비측정용 카메라로부터 촬영한 영상으로부터 3차원 위치를 구하는 알고리즘인 DLT적용에 관한 본 연구의 결론은 다음과 같다.

1. 비측정용 카메라 영상에 대한 DLT의 성능에 대하여는 본 연구의 실험 결과 미지점에 대한 3차원 위치 상대오차는 이미지 면 방향에서 1/1200, 광축방향에서 1/240으로 사진측량용 번들조정 알고리즘의 정확도에는 미치지 못하지만, 응용목적에 따라 비디오 시스템의 활용을 기대할 수 있는 결과를 보였다. 또한, 본 실험에 이용된 Marzan & Karara(1974) DLT모델은 대칭 및 비대칭형 렌즈왜곡수차의 보정에 있어서 보정 파라미터의 증가에 따라 일관된 정확도의 향상을 보이지 않는다는 점으로 미루어 볼때, DLT 수확모델에 개선의 여지가 있다고 사료된다.

2. 영상 매칭에 있어서 본 연구에서 사용된 수치영상은 복잡한 실세계가 아닌 단순하고 통제된 환경에서 취득한 두 개의 탁구공이었기 때문에 수치영상 처리가 단순하고 용이하였지만, 실제 지형을 취득한 경우에는 이때와는 다를 것이다. 따라서, 실제 지형에 대한 자동 형상추출과 자동매칭에 대한 연구가 필요하다.

종합하여 말하면, Beam Splitter를 이용하여 단일 비디오

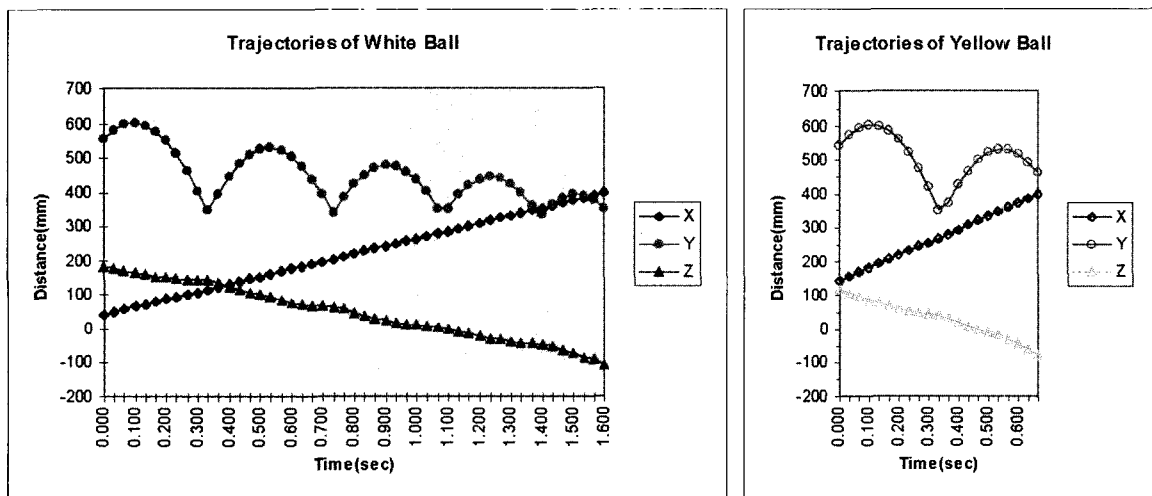


그림 8. 백색 및 황색 탁구공의 3차원 이동궤적 1

카메라로 촬영한 연속 스테레오 영상을 프레임 그래버로 A/D변환하고, 영상매칭에 의해 축점의 영상좌표를 찾아 DLT 알고리즘으로 해석하는 비디오 측정시스템은 반동하는 탁구공의 궤적추적에 기대했던 성과를 보였으며, 이 시스템은 구조물의 동적 안전진단, 생산라인의 품질관리, Machine Vision, 의료용 3차원 인체 거동측정, 군사용의 움직이는 물체 위치추적에 활용이 기대된다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단 "1997년 핵심전문연구(과제번호971-1207-027-2)" 성과의 일부로 연구비 지원에 감사드립니다.

참고문헌

1. 강준목, 배연성, 주영은, 엄대용(2000), CCD 영상획득시스템에 의한 피사체의 변위측정, 한국측량학회지, 제18권 1호, pp. 25-32.
2. 박홍기(1982) "근접사진측정에 있어서 DLT를 이용한 좌표해석에 관한 연구", 연세대학교 대학원, 석사학위논문.
3. 안 기원, 문 명상 (1993), "외부표정요소를 고려한 CCD 카메라 스캐너의 기하학적 왜곡보정기법", 한국 측지학회지, 제 11권 2호, pp. 69-78.
4. 유복모, 윤경철, 정 수. (1992), "수치사진측량에 있어서 epipolar 기하상태를 형성하기 위한 영상재배열", 한국 측지학회지, 제10권 2호, pp. 25-30.
5. 이진덕, 최용진(2001), CCTV유형 CCD 카메라를 이용한 산업사진측량의 정확도, 한국측량학회지, 제19권 3호, pp. 283-290.
6. 이 창경. (1985), "지상사진에 의한 구조물의 변위측정에 관한 연구", 한양대학교 대학원, 석사학위논문.
7. Abdel-Aziz, Y.I. & Karara, H.M. (1974), "Photogrammetric Potentials of Non-Metric Cameras", Report of Department of Civil Engineering, University of Illinois at Urbana-Champaign.
8. Baltsavias, E.P. & Stallmann, D. (1991), "Trinocular Vision for Automatic and Robust Three-Dimensional Determination of the Trajectories of Moving Objects", Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, Vol. 57(8), pp. 1079-1086.
9. Ebner, H., and Heipke, C. (1988), "Integration of Digital Image Matching and Object Surface Reconstruction". International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Kyoto, Vol. 27, part B2, pp. 534-347.
10. Faig, W. (1972), "Single camera Approach in Close Range Photogrammetry", Proceeding of 38th Annual meeting, American Society of Photogrammetry, Washington , D.C., pp. 1-8.
11. Faig, W. (1975). Photogrammetric Equipment Systems with Non-metric Cameras. Close-Range Photogrammetric Systems, American Society of Photogrammetry, Falls Church, Virginia, pp. 648-57.
12. Forstner, W. (1982), "On the Geometric Precision of Digital Correlation", International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing,24(III), pp. 176-189.
13. Forstner, Wolfgang and G lch, E. (1987), "A Fast Operator for Detection and Precise Location of Distinct Points, Corners and Centers of Circular Features". ISPRS Intercommissions Workshop, Interhaken, June, 281-305.
14. Fraser, C.S.(1982), On the Use of Non_metric Camera in Analytical Close Range Photogrammetry, The Canadian Surveyor, Vol. 36, No.3 pp. 259-279.
15. Gruen, A.(1992), "Tracking Moving Objects with Digital Photogrammetric Systems", Photogrammetric Record, 14(80), 171-185.
16. Heikkila, Jan (1989), "Multiscale Representation with Forstner Operator", The Photogrammetric Journal of Finland, Vol. 11, No. 2, pp. 40-59.
17. Ivar Maalen-Johansen (1992), "Design and Calibration of a mono-camera system for Dynamic Purposes", International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Washington D.C., Vol. 29, Comm. 5, pp. 486-493.
18. Karara, H. M.(1980), Non-Metric Cameras (Development in Close range Photogrammetry - 1(Edited by Atkinson), Applied Science Publishers, pp. 63-80.
19. Lee, C.K. & Faig. W. (1996), "Vibration Monitoring with Video Cameras", International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vienna, Vol. 31(B5), pp. 152-159.
20. Lee, Chang-Kyung(2001), Optical Principles of Beam Splitters, Korean Journal of Geomatics, Vol. 1 No. 1, pp. 69-74.
21. Lu, J., Lin, Z. & Pan, D. (1992), "Single CCD Camera based Three Dimensional Measurement System for Moving Object", International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Washington D.C., Vol. 29, Comm. 5, pp. 469-474.
22. Marzan, C.T. & Carara, H.M.(1975) A Computer Program for Direct Linear Transformation Solution of the Colinearity Condition and some Application of it, Symposium on Close_Range Photogrammetric Systems, Champaign, Illinois, American Society of Photogrammetry, pp. 420-471.
23. Moniwa(1977), Analytical Photogrammetric System with Self-Calibration and its Application, Ph. D. Dissertation, University of New Brunswick, Fredericton, NB, Canada.
24. Trinder, J.C. (1989), "Precision of Digital Target Location. PE&RS, Vol. 55(6), pp. 883-886.
25. van Wijk, M.C. & Ziemann, H. (1976), "The Use of Non-Metric Cameras in Monitoring High Speed Process", Photogrammetric Engineering and Remote sensing, Vol. 42(1), pp. 91-102.
26. Wong, K. W. and Ho, Wei-Hsin (1986). Close-Range Mapping with a Solid State Camera. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, Vol. 52, No. 1, pp. 67-74.

(2002년 8월 16일 원고접수)