

한 대의 칼라카메라를 이용한 인체 운동량 측정

안 정 호

승실대학교 기계공학과

(2000년 11월 28일 접수, 2001년 1월 30일 채택)

Human Motion Measurement with One Color Camera

J.H. Ahn

Department of Mechanical Engineering, Soongsil University

(Received November 28, 2000. Accepted January 30, 2001)

요약: 본 연구는 한 대의 칼라 카메라와 광학장치를 이용하여 인체의 운동량을 측정하는 시스템에 관한 것이다. 광학을 이용하여 인체의 운동량을 측정하기 위해서는 일반적으로 두 대 이상의 카메라로부터 획득된 영상으로 측정물체에 대한 좌표를 구하는 입체화상법을 사용한다. 제시한 시스템은 서로 다른 색의 칼라필터와 거울을 통과한 두 개의 광경로를 빔스플리터로 중첩시켜서 한 대의 칼라카메라로 영상을 획득하여 분석하는 것으로, 한 대의 칼라카메라가 두 대의 단색 가상카메라 역할을 하는 것이다. 단색 가상카메라는 적색, 녹색과 청색의 세 가지로 본 실험에서는 적색의 밝기가 가장 낮아서 녹색과 청색 가상카메라를 사용하였다. 광학장치를 이용하여 칼라카메라로 획득된 적색, 녹색과 청색별로 8bit인 24bit 디지털영상에서 녹색과 청색 영상은 각각 녹색과 청색의 가상카메라로 획득한 영상이다. 이 영상들을 이진화하여 측정물체를 배경으로부터 분리하고, 이진 영상에서 일정한 면적을 지닌 영역의 중심을 측정물체가 영상면에 투영된 좌표로 본다. 녹색과 청색 영상에서 동일한 측정물체에 대한 영상선을 구하고 이들의 교차점을 측정물체의 공간좌표로 하였다. 이 시스템을 이용하여 직립 및 신전자세에서 척추의 형상을 측정하였으며 향후 시스템의 추가적인 개발과 적용분야에 대하여도 살펴보았다.

Abstract: In this paper, one color camera system with optical components is presented to get the three dimensional measurement of human motion. To find the coordinates of an object with stereo vision system, two different sight rays of an object are required. Usually, those are acquired with two cameras except stationary 3-D objects. Two cameras are synchronized to get the images at the same time. In this paper, two different sight rays of an object are created with mirrors and color filters. They are superimposed with a beam splitter and projected onto a color CCD arrays. Eventually, two different color sight rays are projected onto one color CCD arrays. The colors of each sight rays are selected among the red, green and blue based on their intensities of the acquired image. In this experiment, blue and green colors have the higher intensities than the red. The image is captured and stored in 24 bitplanes, 8bits for each color. To extract the objects from the background, optimal global thresholding levels are decided after analysing the histogram of the blue and green images, respectively. As the result of the global thresholding of blue and green images, binary images are generated. While scanning the binary images, objects are stored in memory. Noise is filtered out by checking the area of objects. The centers of gravity of objects in binary images are considered as the intersection points of sight rays, from the objects onto the image planes. The intersection point of two sight rays from the same object becomes the position of the object in space. The 3-D coordinates of targets on the spine are measured with the developed system. Further developments of the system are also described, which are intended to extend its application areas.

Key words: Stereo vision, Three dimensional measurement, Camera calibration, Beam splitter

서 론

의공학 분야에서 인체와 관련된 현상을 측정하는 것은 하나

의 중요한 분야를 차지하고 있다. 인체는 뼈와 관절 그리고 근육으로 구성되어 다양한 동적인 작업을 수행할 수 있으며 이들의 특성에 따라서 여러 형태의 비정상적인 동작 및 질병이 발생할 수 있다. 재해나 질병에 의하여 인체의 일부분을 인공 대체물로 그 기능을 수행하게 되면 거동에 있어서 부자연스러운 운동특성을 보이게 된다. 이러한 운동특성을 분석하기 위한 운동량측정은 필수적인 과제중의 하나이다. 운동량측정은 인체

에 링크장치와 같은 기구를 착용하고 링크들 사이의 상대운동을 측정하여 분석하는 것과 같은 접촉식 측정법과 카메라들을 이용하여 인체에 부착된 반사체의 공간좌표를 측정하는 것과 같은 비접촉식 측정법이 있다[1]. 대표적인 비접촉식 측정법은 두 대 이상의 카메라에서 측정물체를 촬영하여 공간좌표값을 계산해내는 입체화상법이다.

인체와 관련하여 카메라를 이용하여 측정하는 분야를 살펴보면 다음과 같다.

보행분석분야에서는 일반적으로 인체의 좌우에 각각 두 대씩 전체적으로 네 대 이상의 카메라를 설치하여 측정물체의 3차원 좌표를 찾아내고 있다. 측정체적은 약 1m×2m×3m 정도이고 카메라 사이의 거리가 약 3m 정도 떨어져있으며 직경이 15mm인 반구형의 반사체를 약 100 Hz 정도의 sampling rate로 측정한다[2].

자동차의 운전 및 기기조작에 편안하고 안락한 의자를 설계하기 위한 연구에도 차량 내부에 4대의 카메라를 설치하고 차량 탑승자의 자세를 측정하는 입체화상법을 사용하였다[3].

인체 형상측정분야에서는 한 대의 카메라와 structured light를 이용하여 인체, 얼굴, 등과 발의 형상을 측정한다. 필요에 따라서는 카메라를 추가로 설치함으로써 사각지대를 최소화하고 측정정밀도를 향상시키고 있다[4-6].

혈류를 측정할 수 있는 유체분야의 입자영상유속 측정에서도 두 대의 카메라를 이용한 방법들이 현재의 추세이다[7]. 입자영상유속 측정분야에서도 Arroyo와 Greated는 한 대의 카메라를 이용하여 두 대의 효과를 얻을 수 있는 방법을 제시하였는데, 이 시스템은 두 쌍의 마주보는 거울과 하나의 렌즈 그리고 한 대의 카메라로 구성하였다. 측정물 평면과 렌즈 평면 그리고 영상면이 서로 평행하고, 세 평면 사이에 서로 마주보며 평면에 수직인 거울 쌍들을 설치하고, 렌즈평면과 측정물 평면사이에 카메라의 광축에 해당하는 지점에 차단판을 둬으로써 측정물이 거울을 통하여만 관측되게 설계하였다[8]. 그러나, 한 대의 흑백카메라를 사용함으로써 서로 다른 두 광경로를 통하여 투영된 측정물이 같은 곳에 투영될 수 있는 문제점이 있다.

일반적으로 물체를 측정하는데 있어서 카메라 수를 증가시키면 사각지대가 감소하고 측정정밀도를 향상시킬 수 있다. 카메라 수가 증가하면 측정시스템이 고정된 공간에서만 사용되며 장비의 이동시 카메라 보정을 수행해야하는 문제들이 야기된다. 또한 장비들간의 배선이나 동기화 그리고 저장되는 영상 수가 증가하여 관리하는데 불편할 수 있다.

본 논문에서는 한 대의 칼라카메라와 광학시스템을 이용하여 두 대의 가상카메라의 효과를 낼 수 있는 방법으로 3차원 좌표를 측정하는 시스템을 제안하고 디지털 칼라카메라로 시스템을 구성하여 직립 및 신전자세에서 척추부위에 부착된 반사체의 3차원 좌표측정에 적용한다.

측정원리 및 시스템구성

일반적으로 영상을 이용하여 공간좌표를 측정하는데는 두

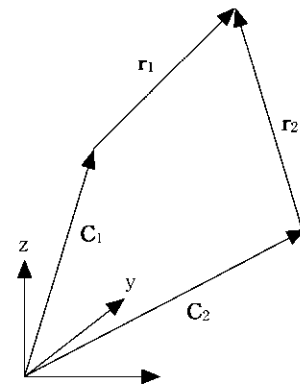


그림 1. 두 대의 카메라를 이용한 위치측정 개략도
Fig. 1. Schematic diagram of the position measurement of an object in space with two cameras

대 이상의 카메라를 동기화 시켜서 사용한다. 다수의 카메라로 3차원 좌표를 얻는 방법은 많은 연구가 이루어졌다[9-12]. 그림 1은 두 대의 카메라를 이용하여 공간상의 한 점의 위치를 측정하는 것을 나타낸 것이다. 벡터 C_1 과 C_2 는 좌표계의 원점으로부터 각 카메라의 초점까지의 위치벡터이고, r_1 과 r_2 는 각각의 카메라의 초점으로부터 측정점까지의 위치벡터로 영상선 (sight ray)을 나타낸다.

본 논문에서는 두 대의 카메라 대신에 한 대의 칼라 카메라, 광대역 50/50 빔스플리터, 녹색과 청색 칼라필터 그리고 거울을 사용하여 그림 2와 같이 시스템을 구성한다. 측정물체는 녹색과 청색 파장의 빛을 발생시키거나 반사하는 것으로 영상선 1과 2의 경로를 통하여 칼라 CCD소자에 투영된다. 영상선 1은 녹색필터를 통과하면서 녹색광만 추출되어 거울들에 의하여

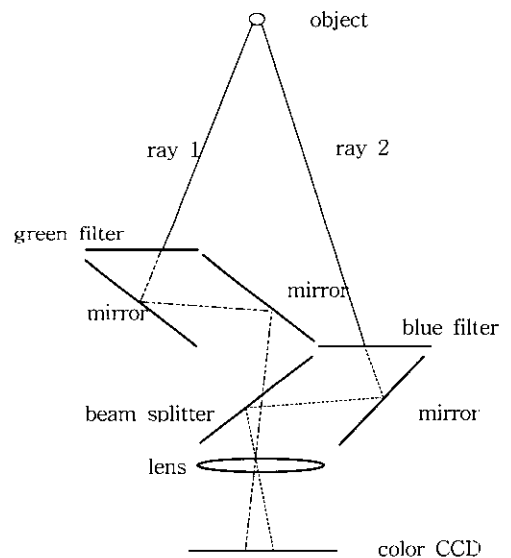


그림 2. 광학부 구성도
Fig 2. Schematic diagram of the proposed optical system

반사되고 빔스플리터와 렌즈를 통과하여 칼라 CCD소자에 도달하고, 영상선 2는 청색필터를 통과하고 반사거울과 빔스플리터에서 반사되고 렌즈를 통과하여 칼라 CCD소자에 투영된다. 따라서, 하나의 칼라 CCD소자에 측정물체에서 발산된 빛이 서로 다른 두 개의 경로를 통하여 녹색과 청색 영상으로 맺히게 되는 것이다.

그림 1과 비교하여 설명하면 영상선 1은 녹색성분의 gray level을 갖게 되며 C1의 위치에 영상이 맺히게 되고, 청색성분의 gray level을 갖는 영상선 2는 C2의 위치에 영상이 맺힌다. C1의 위치에는 녹색만 측정하는 가상카메라가 있는 것과 같고, C2의 위치에는 청색만 측정하는 가상카메라가 각각 위치하게 되는 것이다. 한 대의 칼라 카메라에 서로 다른 두 경로를 통하여 들어온 측정물의 영상이 청색과 녹색의 gray level로 칼라 CCD소자에 맺히게 됨으로써 두 대의 카메라와 같은 역할을 수행하게 된다. 각 영상선에 해당하는 파장의 선택은 측정물체가 영상면에 투영되었을 때 적색, 녹색 및 청색파장 중에서 영상처리에 수월한 것으로 선정한다.

측정물체에 대한 영상선 계산

칼라카메라에 맺힌 영상을 적색, 녹색과 청색에 대하여 8bit 씩 24bit 디지털영상으로 저장한 뒤에 녹색과 청색 영상을 이진화하여 측정물체를 배경으로부터 분리한다. 영상면에 맺힌 측정물체의 중심은 이진영상에서 측정물체의 면적중심으로 하였으며, 측정물체에서 영상면으로 투영되는 영상선과 영상면의 교차점이라 할 수 있다. 이 교차점으로부터 측정물체에 대한 영상선을 구하기 위해 본 논문에서는 두 개의 보정면을 사용한다. 보정면에는 좌표값을 알고 있는 보정점들을 부착하였으며, 보정면을 직선이송장치에 부착하고 이동시켜 보정면의 영상을 획득한다. 보정점들의 영상좌표계와 공간좌표계 사이에 매핑관계를 이용하여 영상면의 측정물체에 해당되는 영상선을 구할 수 있다[13].

그림 3에서 영상면에 투영된 측정점 I에 대한 영상선을 구하는 과정은 다음과 같다. 제 1보정면에 놓인 세 개의 보정점 P₁, P₂, P₃와 이들이 영상면에 투영된 보정점 P^{i₁, P^{i₂, P^{i₃의 좌표는 각각 공간좌표계와 영상좌표계에 대한 것으로 각 좌표계에서의 좌표값은 알고 있다. 영상면의 측정점 I는 영상면의 보정점 P^{i₁, P^{i₂, P^{i₃로 구성된 사교좌표계의 좌표 (s,t)로 식(1)과 같이 표현할 수 있으며, 그 좌표값은 식(1)에 벡터의적을 적용하여 식(2)와 같이 구할 수 있다. 렌즈를 통하여 투영된 영상면의 보정점 P^{i₁, P^{i₂, P^{i₃로 구성된 사교좌표계에서의 좌표 (s,t)는 제 1 보정면의 보정점 P₁, P₂, P₃로 구성된 사교좌표계의 좌표 (s,t)와 대응된다. 따라서, 영상면의 측정점 I에 대한 제 1 보정면에서의 측정점 P는 식 (2)의 (s,t) 값을 식 (3)에 적용함으로써 구할 수 있다. 같은 방법으로 제 2 보정면에서 영상면의 측정점 I에 대응하는 제 2보정면에서의 측정점 Q도 구할 수 있다. 따라서, 제 1 보정면과 제 2보정면에서 영상면의 측정점 I에 대응되는 점 P와 Q를 찾았으며, 이 두 점으로부터}}}}}}}}}

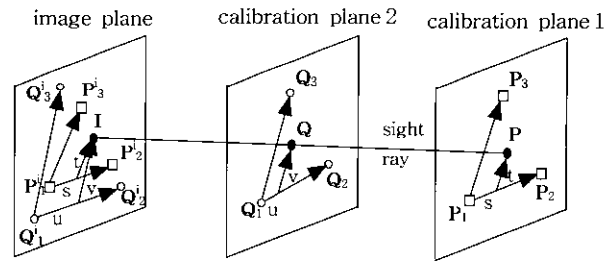


그림 3. 영상선 찾기
Fig 3. Finding a sight ray with calibration planes

영상면의 측정점 I에 대한 공간상의 영상선의 식을 식(7)과 같이 표현할 수 있다.

렌즈의 왜곡이 심한 경우에는 보정점의 수를 증가시킬 수 있으며 영상선 계산을 위한 세 보정점은 투영된 측정점에 근접한 세 개의 보정점으로 선정할 수 있다. 선택한 세 보정점으로부터 영상선을 구하는 방법은 앞에 설명한 것과 동일하다.

$$I = P^i_1 + s(P^i_2 - P^i_1) + t(P^i_3 - P^i_1) \tag{1}$$

$$s = \frac{(I - P^i_1) \times (P^i_3 - P^i_1)}{(P^i_2 - P^i_1) \times (P^i_3 - P^i_1)}$$

$$t = \frac{(I - P^i_1) \times (P^i_2 - P^i_1)}{(P^i_3 - P^i_1) \times (P^i_2 - P^i_1)} \tag{2}$$

$$P = P_1 + s(P_2 - P_1) + t(P_3 - P_1) \tag{3}$$

$$I = Q^i_1 + u(Q^i_2 - Q^i_1) + v(Q^i_3 - Q^i_1) \tag{4}$$

$$u = \frac{(I - Q^i_1) \times (Q^i_3 - Q^i_1)}{(Q^i_2 - Q^i_1) \times (Q^i_3 - Q^i_1)}$$

$$v = \frac{(I - Q^i_1) \times (Q^i_2 - Q^i_1)}{(Q^i_3 - Q^i_1) \times (Q^i_2 - Q^i_1)} \tag{5}$$

$$Q = Q_1 + u(Q_2 - Q_1) + v(Q_3 - Q_1) \tag{6}$$

$$L = P + l(Q - P) \tag{7}$$

두 영상선의 교차점 계산

공간상의 측정점은 서로 다른 경로를 통하여 각각 가상카메라들에 투영되며, 영상면에 투영된 측정점과 영상선에 대한 관계는 그림 4와 같이 나타낼 수 있다. 동일한 측정물체에 대한

실험 및 고찰

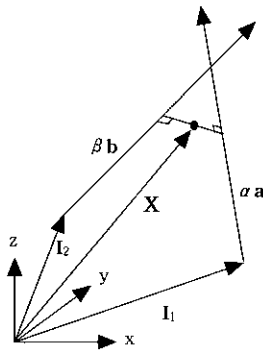


그림 4. 두 영상선의 교차점
Fig. 4. Intersection point between two sight rays

두 영상선상의 점들을 각각 I_1 과 I_2 라고 하면, 두 영상선은 식 (8)의 좌변과 우변과 같이 나타낼 수 있다. 이 두 영상선은 영상처리과정의 오차로 인하여 실질적으로 공간상에서 교차하지 않으므로 두 영상선의 교차점은 두 영상선 사이에 가장 근접한 두 점을 연결한 선의 중앙으로 설정할 수 있다. 식 (8)은 두 영상선상에서 가장 근접한 두 점을 찾는 것으로 벡터의 외적을 적용하여 정리하면, 두 영상선상에 근접한 두 점의 매개변수 α 와 β 를 식 (9)와 같이 구할 수 있다. 앞에서 구한 매개변수 α 와 β 를 두 영상선식에 대입하여 그 중간값을 취하면 두 영상선의 교차점 X는 식 (10)과 같이 구할 수 있다.

$$I_1 + \alpha a = I_2 + \beta b \tag{8}$$

$$\alpha = \frac{(I_2 - I_1) \times b}{a \times b}, \beta = \frac{(I_2 - I_1) \times a}{a \times b} \tag{9}$$

$$X = \frac{I_1 + I_2 + \alpha a + \beta b}{2} \tag{10}$$

실험에서는 Nikon Coolpix 950 디지털카메라로 1600x1200의 해상도로 영상을 획득하였다. 광학부는 20x20mm 빔스플리터와 세 개의 20x20mm 직각프리즘 거울과 녹색통과 필터와 청색통과 필터로 구성하였다. 반사체로는 5x5mm의 반사스티커를 사용하였다. 카메라 보정면에는 5개의 반사체를 부착하고 직선이송장치의 운동방향에 수직이 되게 설치하였다. 보정면을 0, 80, 160mm씩 이동시킨 지점에서 보정면에 대한 영상을 획득하였다. 0mm에 위치한 보정면을 기준보정면으로 하였으며 그림 3에서는 제 1 보정면에 해당한다.

디지털카메라에서 획득된 JPG 영상파일을 24bit BMP 파일로 전환하여 녹색과 청색에 대한 이진영상 파일을 생성하였다. 실험 조건에서는 적색의 강도가 녹색과 청색의 강도보다 낮게 나타나 녹색과 청색이 이진영상을 만들기에 유리하였다. 측정물체를 배경으로부터 분리하기 위하여, 녹색과 청색의 히스토그램을 분석하여 thresholding 값을 녹색은 30, 청색은 15로 결정하였으며, 모든 영상에 대하여 동일하게 적용하였다[14]. Thresholding 값이 작은 것은 빔스플리터에서 50%의 광량이 손실되고 조명이 상대적으로 어두웠기 때문이다. 이진영상에서 측정물체와 기타 다른 잡음에 대한 처리는 면적을 기준으로 하였다. 일정한 면적을 지닌 영역만 반사스티커로 보고 나머지는 제거하였다. 이진영상에서 반사스티커의 중심은 반사스티커 영역의 중심으로 하였다[15].

그림 5는 기준보정면의 영상을 청색과 녹색에 대하여 이진화한 영상을 나타낸다. 그림 5b는 청색에 대한 이진영상으로 보정점 0을 측정점들에 대한 기준좌표계의 원점 (0,0,0,0,0)으로 하며 오른손 좌표계이다. 보정점 1의 좌표는 (-79.2, 130.6, 0,0)이고, 보정점 2는 (-79.2,-130.6,0,0), 보정점 3은 (79.2,130.6,0,0), 보정점 4는 (79.2,-130.6,0,0)이다. 보정면을 z축 방향으로 160mm 이동하여서 획득한 영상을 제 2보정면으로 하였다. 제 2보정면에서 보정점들의 좌표값은 제 1보정면의 보정점들의 좌표값에

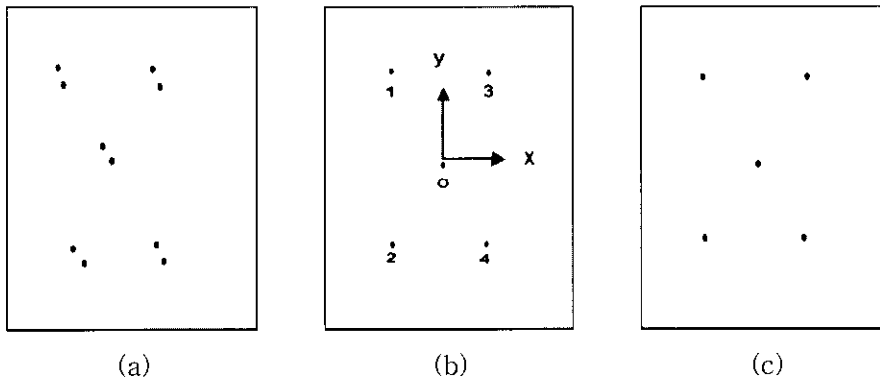


그림 5. 기준보정면의 이진영상
a) 청색과 녹색의 이진영상 b) 청색에 대한 이진영상 c) 녹색에 대한 이진영상

Fig. 5. Binary images of the reference calibration plane

a) Binary image of blue and green bitplanes b) Binary image of blue bitplanes c) Binary image of green bitplanes

표 1. 80mm 지점에 위치한 보정면의 보정점에 대한 측정값 및 오차

Table 1. Measurement data and errors of the calibration points of a calibration plane at 80mm

calibration point	actual coordinates	measured coordinates	x axis error	y axis error	z axis error	distance error
0	(0.0, 0.0, 80.0)	(0.14, -0.06, 81.26)	0.14	0.06	1.26	1.27
1	(-79.2, 130.6, 80.0)	(-78.99, 130.52, 79.75)	0.21	0.08	0.25	0.34
2	(-79.2, -130.6, 80.0)	(-79.03, -130.40, 82.24)	0.17	0.20	2.24	2.26
3	(79.2, 130.6, 80.0)	(79.24, 130.51, 82.08)	0.04	0.09	2.08	2.08
4	(79.2, -130.6, 80.0)	(79.07, -130.33, 83.05)	0.13	0.27	3.05	3.07

서 z값만 160 mm로 대치된다. 보정면의 영상을 획득하기 위한 카메라의 위치는 기준보정면으로부터 z축 방향으로 1600 mm 지점에 설정하였다. 디지털 카메라에 투영된 기준보정면의 영상은 한 화소가 0.334 mm에 해당되고, 제 2 보정면의 영상에서는 0.301 mm이다.

표 1은 80 mm 지점에 있는 보정면의 영상으로부터 보정점들에 대한 위치를 측정하여 실제 보정점들의 위치와 비교한 것이다. 표 1에서 거리오차는 주로 z축 방향 즉 카메라 방향의 오차가 측정오차에 가장 큰 영향을 주는 것을 볼 수 있다. 이는 가상카메라들과 측정물체사이의 거리와 관계한 것으로, 본 실험에서의 가상카메라들과 측정물체의 관계는 그림 6과 같다. 녹색과 청색 가상카메라들의 위치는 beam splitter와 직각 프리즘의 위치에 의하여 결정된다. 실험에서는 가상카메라들의 위치가 서로 40 mm 떨어져 있으며, 측정물체까지의 거리는 약 1600 mm로 두 영상선의 교차각도는 약 1.4도이다. 그림 7은 영상선들이 서로 교차하는 부분을 과장하여 그린 것이다. 영상선은 측정물체가 영상면에 투영된 영상으로부터 영상처리과정을 통하여 얻어지는 것으로 오차를 내포하게 되며, 영상의 해상도나 영상처리과정 및 영상면에 투영된 측정물체의 크기에 따라 변한다. 두 영상선의 교차점 부근에서 영상선은 오차 ϵ_r 를 반경으로 하는 원통형으로 예상할 수 있으며, 두 원통의 교

차체적내에 측정점이 위치하게 되는 것이다. 두 영상선이 직각으로 만날 때에 두 원통의 교차체적이 최소이나, 본 실험에서는 두 영상선의 교차각이 1.4도로 예각을 이루고 있어서 z축 방향의 오차가 크게 나타나게 되는 것이다. 두 영상선의 교차각을 크게 하면 측정오차는 감소하지만 각 카메라에서 보이지 않는 사각지대는 측정물체의 형상에 따라서 증가할 수 있다. 두 영상선의 교차각을 크게 하려면 카메라로부터 측정물체까지의 거리를 짧게 하거나 좌측과 우측의 거울들 사이의 거리를 멀리하여야 한다. 거울들 사이의 간격을 멀리하면 거울의 크기가 증가하나 측정물체까지의 거리는 일반적으로 두 대의 카메라를 사용할 때보다 감소한다.

측정시스템을 디지털카메라로 구성하여 정적인 영상만을 획득할 수 있어서 측정대상을 인체의 척추부위로 정하였다. 측정은 척추부위에 10개의 반사스티커를 부착하고 직립자세와 신전자세에서 반사스티커의 좌표에 대하여 이루어졌다. 그림 8의 a와 b는 직립자세에서 획득된 녹색과 청색 영상을 영상처리과정을 거쳐 이진영상으로 전환한 것이며, c와 d는 신전자세에 대한 이진영상이다. 본 논문에서 제시한 방법에 의하여 10개의 반사체에 대한 직립자세와 신전자세에서의 측정좌표값들의 결과를 표 2에 나타내었으며, 측정점들을 그래픽으로 재구성하여 측면에서 바라본 것을 그림 9에 나타내었다. 표 2의 좌표값은 기준보정면의 좌표계에 대한 것으로 카메라에 대하여 상대적으로 고정된 좌표계이다. 따라서 카메라를 이동시켜서 측정한 값들은 공간상에서 절대적인 위치를 나타내는 것이 아니라 카메라

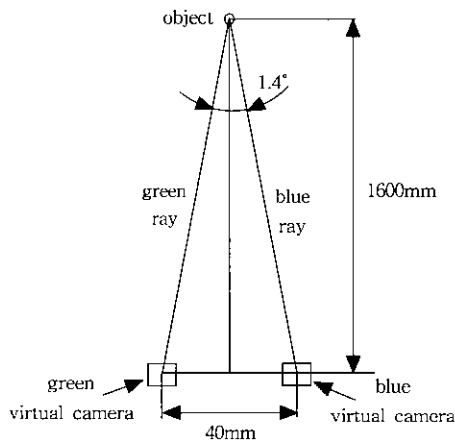


그림 6. 가상카메라 위치와 영상선들

Fig 6. Virtual cameras and those sight rays

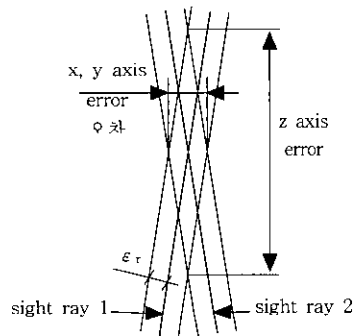


그림 7. 측정오차

Fig. 7. Measurement error

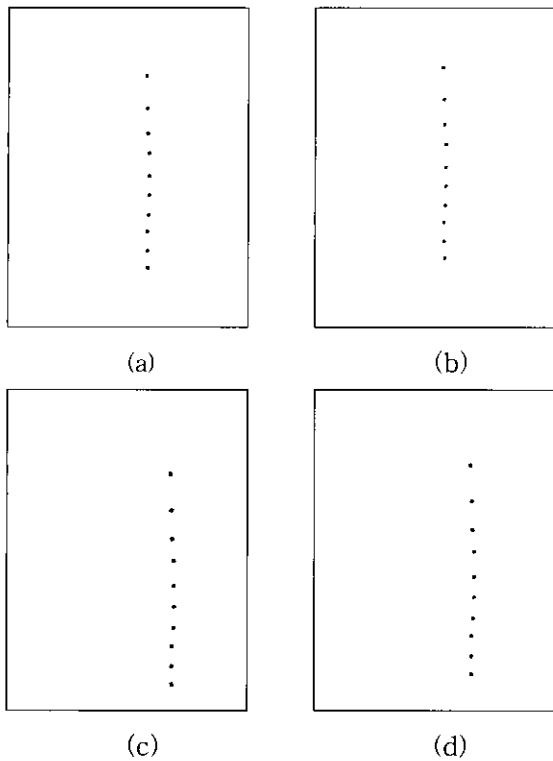


그림 8. 직립 및 신전자세에서의 이진영상들

- a) 직립자세의 녹색 이진영상
- b) 직립자세의 청색 이진영상
- c) 신전자세의 녹색 이진영상
- d) 신전자세의 청색 이진영상

Fig. 8. Binary images of standing and extension position

- a) Green binary image of standing position
- b) Blue binary image of standing position
- c) Green binary image of extension position
- d) Blue binary image of extension position

라에 고정된 좌표계의 값이다. 측정된 결과를 공간좌표계에 대한 측정점들의 좌표값으로 매핑시키는 방법은 공간좌표계에 대한 카메라의 위치 및 자세를 추적하는 것과 공간좌표계의 좌표값을 알고 있는 3개 이상의 측정점들을 측정하고자하는 영상에 포함시키는 방법이 있다. 척추 부위의 측정을 위한 반사스티커의 부착 위치는 임상적인 의미를 지닌 곳을 설정할 필요성이 있으며 측정된 데이터에 대한 분석기법의 개발도 추가적으로 이루어져야할 사항이다.

결 론

본 논문에서 한 대의 칼라 카메라와 광학장치를 이용하여 척추의 형상을 측정하였다. 광학장치는 광경로를 변경시키기 위한 거울들과 양쪽의 경로에서 빛을 합성하기 위한 빔스플리터, 그리고 각각의 광경로에 청색과 녹색통과 필터를 사용하였다. 청색과 녹색필터를 사용한 것은 반사체에서 반사되는 빛의 강도가 녹색, 청색, 적색의 순서로 나타나 녹색과 청색을 선택하였으나 조명장치 또는 발광체의 파장 특성에 따라서 필터를

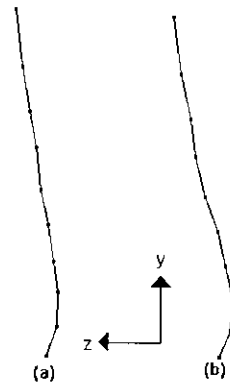


그림 9. 측면에서 본 측정점들

- a) 직립자세
- b) 신전자세

Fig. 9. 3D measurement points of spine

- a) Standing position
- b) Extension position

선택적으로 적용할 수 있다. 적색과 녹색발광 다이오드를 측정점으로 사용할 경우에는 적색과 녹색 필터를 사용하여 본 논문에서 제시한 방법에 의하여 동일한 결과를 얻을 수 있다.

실험결과 측정오차는 영상선의 교차각도에 영향을 받는 것으로 나타났다. 영상선의 교차각도는 카메라들과 측정물의 상대위치에 영향을 받는다. 가장 이상적인 것은 측정물을 교차점으로 하여 90도의 각도의 위치에 카메라를 위치시키는 것이나 사각지대가 많이 발생할 수 있다. 일반적으로 보행분석에서는 4-6대의 카메라를 사용하고 카메라들 사이의 교차각이 약 60도 근처로 오차가 각 축별로 비교적 균일하게 분포하나, 본 실험에서는 약1.4도로 카메라 방향으로의 오차가 상대적으로 컸다.

본 논문에서 제시한 시스템에서 교차각을 증가시키려면, 측정물에서 근접한 거리에서 촬영하거나 카메라에서 좌우에 위치한 거울의 간격을 멀리하는 방법으로 해결할 수 있다. 거울의 간격을 멀리하면 거울의 크기가 커져서 측정시스템이 커질 수 있으나 상대적으로 측정물과 측정시스템사이의 거리는 가까워져서 측정을 위한 공간이 줄어든다는 장점이 있다. 일반적으로 보행분석에는 넓은 공간을 필요로 하는데 본 논문에서 제시한 측정시스템을 적용할 때는 공간을 줄일 수 있는 효과를 얻을 수 있다.

충돌해석이나 동작분석에 본 논문에서 제안한 방법을 적용하면 고속카메라를 한 대로 줄일 수 있어서 고가의 카메라 구입에 따른 비용을 줄일 수 있으며, 카메라들을 동기시키기 위한 배선이나 주변기기들이 간편해져서 장비의 이동 및 설치가 편리해질 수 있다.

실험적 시스템을 구성하여 테스트한 결과 성공적인 결과를 얻었으며 앞으로 보행분석 및 스포츠 분야의 동작분석과 차량의 충돌시 인체의 거동해석분야 등으로 제안한 시스템을 확대 적용할 수 있을 것이다.

표 2. 측정점들의 좌표값
Table 2. Measurement data

points	standing position			extension position		
	x	y	z	x	y	z
1	26.97	152.69	84.62	48.63	126.32	262.40
2	30.79	101.61	78.27	53.13	75.27	255.10
3	33.52	61.23	71.33	56.36	35.13	246.50
4	37.34	29.22	65.18	60.29	2.88	242.68
5	39.02	-8.49	61.54	62.87	-33.69	233.49
6	40.75	-39.61	54.74	65.41	-64.11	221.93
7	41.58	-72.11	49.13	66.48	-95.83	214.05
8	40.73	-99.91	45.04	65.92	-123.09	207.13
9	41.98	-130.54	46.94	66.59	-152.34	209.24
10	42.79	-156.50	56.04	66.17	-176.44	220.62

참 고 문 헌

1. Young-Eun Kim, Jeong-Ho Ahn, "Development of a modified exoskeletal linkage type instrument for 3-D motion measurement of the human knee joint", Journal of KSOMBE, Vol. 15, No. 3, pp. 289-294, 1994
2. C. Frigo, M. Rabuffetti, D.C. Kerrigan, L.C. Deming, "Functionally oriented and clinically feasible quantitative gait analysis method", Medical & Biological Engineering & Computing, Vol. 36, pp.179-185, 1998
3. G. Stockman, J.L. Chen, Y. Cui, H. Reynolds, "Measuring body points on automobile drivers using multiple cameras", Image and Vision computing, Vol. 15, pp.317-329, 1997
4. J.H. Ahn, E.S. Lee, J.W. Cho, "Development of a 3D surface measurement system with a camera and a structured light", Proceedings of the KSME 1998 Fall Annual Meeting A, pp.1046-1050, 1998
5. F. Lilley, M.J. Lator, D.R. Burton, "Robust fringe analysis system for human body shape measurement", Optical Engineering, Vol. 39 No. 1, pp.187-195, 2000
6. H. Gartner, J.F. Lavoie, E. Vermette, P.S. Houle, "Multiple structured light system for the 3D-measurement of feet", Proceedings of the Three-Dimensional Image Capture and Applications II, pp. 104-114, 1999
7. A.K. Prasad, "Stereoscopic particle image velocimetry", Experiments in Fluids, Vol. 29, pp.103-116, 2000
8. M.P. Arroyo, C.A. Greated, "Stereoscopic particle image velocimetry", Measurement Science & Technology, Vol. 2, pp.1181-1186, 1991
9. R.O. Duda, P.E. Hart, Pattern Classification and Scene Analysis, John Wiley, New York, 1973
10. R.A. Jarvis, "A perspective on range finding techniques for computer vision", IEEE Trans. PAMI, Vol. 5 No. 2, pp.122-139, 1983
11. R. Haralick and L. Shapiro, Computer and Robot vision, Addison-Wesley, 1993
12. R. Jain, R. Kasturi and B. Schunck, Machine Vision, MacGraw-Hill, New York, 1995
13. Jeong-Ho Ahn, "Camera calibration with two calibration planes and oblique coordinate mapping", Journal of the Korean Society of Precision Engineering, Vol. 16, No. 7, pp.119-124, 1999
14. Rafael C. Gonzalez, Richard E. Woods, Digital Image Processing, Addison Wesley, pp. 443-452, 1992
15. Ioannis Pitas, Digital image processing algorithms, Prentice Hall, pp. 326-331, 1993