

융합센서 기반의 모션캡처 시스템

김 병 열*, 한 영 준**, 한 헌 수**

Motion Capture System using Integrated Pose Sensors

Byungyul Kim*, Youngjoon Han**, Hemsso Hahn**

요 약

본 논문에서는 기존의 광학식 모션 캡처에서 생길 수 있는 마커들 간의 간섭이나 복잡한 시스템 구성으로 인한 시스템 설치의 복잡성 문제들을 해결하기 위해, 2차원 위치정보를 제공하는 단일 카메라와 특정부위의 방향정보를 제공하는 가속도센서와 자이로 센서로 구성된 동작센서를 융합하여 간편한 모션 캡처를 실현하는 새로운 기법을 제안한다. 본 논문의 동작 인식은 크게 영상기반 위치 정보와 동작센서기반 방향 정보의 융합을 통해 이루어진다. 영상은 보이는 부위에 장착된 컬러마커의 위치를 기준점으로 제공하고, 동작센서들은 각 패치의 이동방향과 속도를 측정하여 영상에서 제공하는 마커들의 3차원 포즈정보를 알아 낼 수 있다. 제안하는 시스템은 사람동작의 측정에 필요한 최소한의 센서정보를 사용함으로써 시스템의 구성과 센서의 설치가 매우 간단하며 경제적이라는 장점을 갖는다. 이러한 장점은 다양한 실험을 통해 검증하였다.

Abstract

At the aim of solving the problems appearing in traditional optical motion capturing systems such as the interference among multiple patches and the complexity of sensor and patch allocations, this paper proposes a new motion capturing system which is composed of a single camera and multiple motion sensors. A motion sensor is consisted of an acceleration sensor and a gyro sensor to detect the motion of a patched body and the orientation (roll, pitch, and yaw) of the motion, respectively. Although Image information provides the positions of the patches in 2D, the orientation information of the patch motions acquired by the motion sensors can generate 3D pose of the patches using simple equations. Since the proposed system uses the minimum number of sensors to detect the relative pose of a patch, it is easy to install on a moving body and can be economically used for various applications. The performance and the advantages of the proposed system have been proved by the experiments.

▶ Keyword : 모션캡처(Motion Capture), 가속도 센서(Acceleration Sensor), 자이로 센서(Gyro Sensor), 카메라(Single Camera), 상대위치측정(Relative pose measurement)

• 제1저자 : 김병일 교신저자 : 한헌수

• 투고일 : 2010. 03. 12, 심사일 : 2010. 03. 29, 게재확정일 : 2010. 04. 09.

* 숭실대학교 전자공학과 석사과정 ** 숭실대학교 정보통신전자공학부 교수

※ "본 논문은 2010년 정부 교육과학기술부(한국학술진흥재단)의 2단계 BK21사업의 재원으로 지원을 받아 수행된 연구임."

※ "본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음" (NIPA-2010-(C1090-1021-0010))

I. 서론

최근 모션캡처(Motion Capture)는 다양한 분야에서 이용되고 있다. 게임, 영화, 의료 분야에서부터 교육 등의 콘텐츠 뿐만 아니라 교육 분야, 군사 분야 등 폭넓게 쓰이고 있다. 모션 캡처의 활용 분야가 급진적으로 늘어나는데 반해 장비 및 시스템의 기술개발은 이에 못 미치고 있다.

지금까지 개발된 모션 캡처 방식은 사용하는 매체에 따라서는 기계식, 광학식, 자기식, 초음파식 정도로 구분할 수 있다. 기계식의 경우 외부 장착형(Exoskeleton)형태[1]의 모션 캡처 장비를 이용한 경우로서 정확한 측정이 가능하고 반응속도 또한 빠르다. 그러나 그 측정이 매우 제한적이고 준비과정 및 측정 상태에서 기구부의 제약으로 인해 불편한 점이 많다. 따라서 최근에는 이용이 현저히 줄어든 상태이고 최근에는 광학식과 자기식이 전체 사용량의 70~80%를 차지할 정도로 널리 쓰이고 있다. 카메라를 이용하는 광학방식[2]은 정확도에서 우수하나 설치의 어려움이 있는 것과 다양한 전처리 과정과 캘리브레이션을 통해 왜곡을 제거하여 정확도를 높이는 것이 과제이다. 즉 영상의 왜곡과 카메라의 입력속도로 인한 문제 그리고 간섭으로 인한 문제 등이 해결되어야 한다. 이러한 문제점들로 인하여 광학방식에서는 측정대상을 전 방향에서 촬영하여 처리한다. 이로 인해 정확도 높은 결과를 얻어 내지만 데이터 처리량이 많아져서 실시간 처리가 어렵고 사용 전 후 준비과정이 많이 필요하다. 또한 그만큼 시스템에서 요구하는 리소스가 커서 다양한 분야에 응용하기에는 부담감이 크다. 자기식[3]의 경우는 장치의 설정(calibration)에 대한 부담과 정확도에서 상대적인 단점을 볼 수 있다.

광학방식의 장점을 최대한 활용하기 위해 단점을 보완하는 하이브리드 방법[4]이 제안되기도 한다. 이러한 보완 방식은 저가의 콤팩트한 모션 캡처 시스템을 목표로 하며 PSD(Position Sensitive Detector) 센서를 이용하며, 스테레오 카메라 대신 마커를 스테레오로 사용하여 3차원공간상의 위치를 측정한다. 마커를 사용한 광학 방식이지만 보다 간편하게 변형된 형태로 볼 수 있다. 하지만 아직도 준비과정과 시스템의 크기에서 부담스러운 부분이 크다.

본 논문에서도 하이브리드 형태의 광학식 모션 캡처 시스템을 제안한다. 기존의 광학식 모션 캡처 방식과 유사하지만 하나의 카메라만을 이용하여 화면상에서 마커의 위치를 인식하고 움직임을 잡아내는 점을 방법을 제안한다. 단일 카메라를 이용함으로써 기존의 방식에 비해 준비과정이나 처리할 데이터의 량을 최소화하였다. 그러나 단일 카메라는 깊이 정보를 제공하지 못하므로 카메라의 시점과 수직하는 평면상태의

움직임에는 강하지만 일반 환경의 3D정보를 취합할 수 없고 카메라와 수직하는 평면 외에 움직이는 마커의 중첩이나 폐쇄에 취약하다는 문제를 보완하기 위해 움직임과 방향성에 강한 3D 모션센서[5]를 함께 사용하였다. 이를 통해 광학식의 큰 단점인 전후처리과정을 많이 줄일 수 있고 시스템의 크기 또한 줄일 수 있었다.

본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 2장에서는 본 논문에 다루는 모션 캡처 시스템의 전반적인 구성에 대해서 설명한다. 3장에서는 단일 카메라에서 마커를 인식하는 전처리 과정을 포함한 영상처리 기반의 모션캡처 방식을 설명한다. 4장에서는 가속도센서와 자이로센서로 구성된 동작센서의 정보처리과정을 설명하고 그 결과가 영상정보와 어떻게 융합되는지를 설명한다. 5장에서는 제안된 시스템의 성능을 평가하기 위한 실험을 설명하고 6장에서 결론을 맺는다.

II. 모션캡처 시스템 구성

본 논문에서 제안하는 시스템은 크게 두 부분으로 구분할 수 있다. 단일 카메라를 이용한 영상처리 부분과 가속도 센서와 자이로 센서를 융합한 동작센서모듈 부분이다. 광학식 모션 캡처의 방법과 마찬가지로 측정대상의 특정부위, 예를 들면 주로 관절 부분에 마커를 부착하고 패지의 위치를 측정하게 된다. 그림 1에서 볼 수 있듯이 팔의 경우에는 어깨 부분과 팔목 부분에 마커를 부착한다.

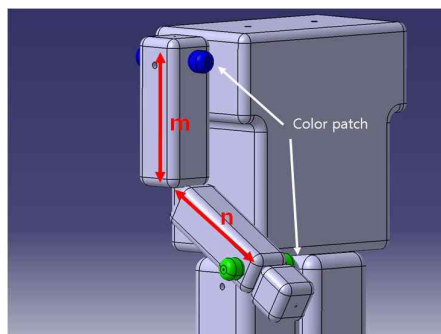


그림 1. 카메라가 측정하게 되는 마커의 예시
Fig. 1. Example of marker to be detected by a camera

마커의 위치측정을 통해 움직임이 발생하는 부분, 즉 관절 부분의 위치정보를 알 수 있게 된다. 그러나 단일 카메라이기 때문에 각 마커의 위치는 카메라의 방향과 수직하는 평면의 2차원 정보에 불과하다. 3차원 포즈정보를 알기 위해서는 카메라와 수직한 방향의 깊이 정보가 필요하게 되는데 이를 위해 그림 2에 주어진 것과 같은 구조의 동작센서를 활용한다.

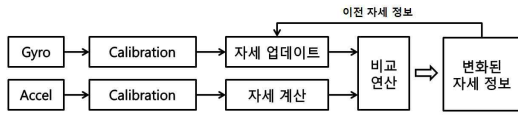


그림 2. 동작센서 구조
Fig. 2. Motion sensor configuration

동작센서는 상체동작의 측정을 위해 5개를 1조로 사용한다. 위치측정의 기준이 되는 몸통에 1개를 설치하고 움직이는 양팔의 어깨와 팔목에 하나씩 설치되어 움직이는 방향 성분을 측정하여 Roll, Pitch, Yaw의 값으로 표현한다. 이 정보를 이용하여 팔꿈치 관절의 위치를 추정한다.

동작센서들의 배열은 그림 3에서 보는 바와 같이 몸통에 위치한 센서를 마스터로 정의하고 팔에 부착된 4개의 센서를 슬레이브로 정의한다. 마스터(ATmega128)는 각 센서들의 정보를 입력받아 패킷화하여 모션캡처프로세서에 전달하는 역할을 한다. 이 과정에서는 원활한 정보전송을 블루투스(RS232)가 이용된다. 그리고 마스터와 슬레이브 상에서의 통신은 RS485통신을 기반으로 하게 된다. 여러 개의 센서 모듈 제어에 용이하며 데이터 버스를 공유할 수 있어서 설치에도 간편하다.

이 과정들이 종합되어 얻어지는 각각의 센서 정보들을 입력 받아 처리하는 모션캡처프로세서는 최종적인 단일 카메라의 정보와 혼합하여 모션캡처 정보를 도출하게 된다.

그림 3은 5개의 동작센서와 영상센서를 융합한 전체 시스템의 구성도를 보여준다.

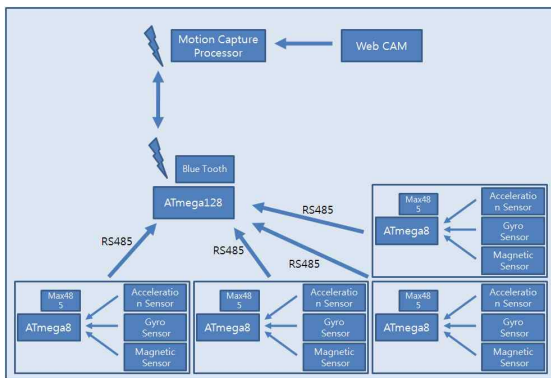


그림 3. 전체센서시스템의 구조
Fig. 3. Sensor system configuration.

III. 영상기반의 모션캡처

영상기반의 모션 캡처 작업은 다음의 그림 4와 같은 과정으로 구성된다. 빨간색과 파란색 마커를 각각 어깨와 손목에 부착한 후 카메라를 이용하여 영상을 획득한 후, 각 프레임에 대해 Median 필터 수행 후 RGB를 HSV 컬러 모델로 변환하고 이진화시킨 다음 그 결과 영상의 잡음제거를 위해 모폴로지를 수행한다. 이런 전처리 과정을 그리고 그렇게 잡힌 각각의 마커의 중심점을 찾아 추적하게 된다.



그림 4. 영상처리 흐름도
Fig. 4. Image Processing Flowchart.

3.1 컬러 모델 변환(RGB -> HSV)

일반적으로 카메라는 RGB 영상을 제공한다. RGB는 Red, Green, Blue로 이루어진 컬러모델로써, 빛의 영향을 많이 받아 영상처리에 많은 제약이 따른다. 그래서 이를 대신하여 많이 사용하는 컬러모델이 Hue, Saturation, Value로 이루어진 HSV(HSI)이다. 이 컬러 모델은 영상의 밝기변화에 대해 강한 내성이 있어서 설계한 엔진이 주변 빛의 밝기에 민감하지 않고도 처리를 할 수 있도록 해 많이 사용된다. RGB가 빛의 속성을 이용한 방식이라면, HSV는 빛을 인간의 눈이 받아들이는 원리를 이용한 방식이라 할 수 있다.

본 논문에서도 몸에 부착된 빨간색, 파란색 마커를 인식하기 위해 HSV의 H(Hue)와 S(Saturation) 값을 사용하였다. RGB를 HSV로 변환하기 위한 공식은 아래와 같다.

$$H = \arccos \frac{\frac{1}{2}((R-G) + (R-B))}{\sqrt{((R-G)^2 + (R-B)(G-B))}} \quad (1)$$

$$S = 1 - 3 \frac{\min(R, G, B)}{R + G + B} \quad (2)$$

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

HSV는 원통 모양의 좌표계로 다음의 그림 5와 같이 하나의 원뿔 밑에 또 하나의 원뿔이 뒤집어져 있는 이중 원뿔모형을 사용한다.

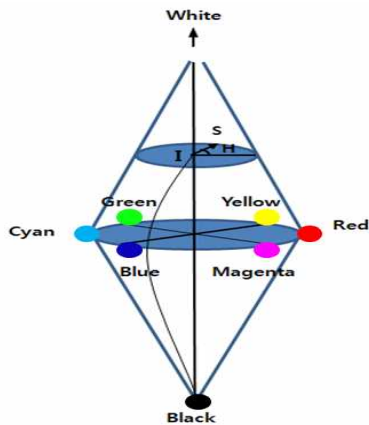


그림 5. HSV 모형화 (이중 원뿔 모형).
Fig. 5 HSV Modeling(Double cone model): Hue : 0°~360°
Saturation: 0%~100%, Value: 0%~100%.

Hue는 그림 6의 색상표와 같이 각도에 따라 0° 빨강색, 120° 녹색, 240° 파랑색, 360° 빨강색으로 볼 수 있다.

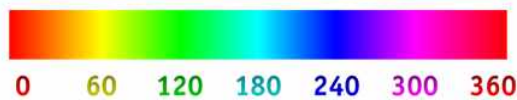


그림 6. Hue 색상표
Fig. 6 Hue Color Table.

3.2 모폴로지를 이용한 잡음 제거

모션 캡처를 위해 측정대상에 부착하는 마커는, 움직임으로 인한 빛의 영향을 최소화하고 측정 방향에 상관없이 특정 범위의 색상 값을 검출하기 위해, 표면이 불규칙적인 스펀지 재질의 것을 사용했다. 이와 같은 방법으로 측정되는 색상의 특징은 일관성을 유지할 수 있으나 아래의 그림 7(a)에서 보는 예와 같이 마커영역 전체가 균일하게 검출되지 않는 경우도 발생한다.

이런 경우에 적합하게 사용할 수 있는 영상처리기법으로 모폴로지를 사용한다. 모폴로지는 잡음 제거에 많이 사용되는 연산기법으로 물체의 경계나 골격 등과 같은 영역을 영상에서 추출하기 위한 도구이다. 기본적 연산으로는 다음과 같이 정의되는 팽창(dilation), 침식(erosion), 열림(opening) 그리고 닫힘(closing) 연산 등이 있다. 여기서 A는 입력영상이고 B는 structuring element이다.

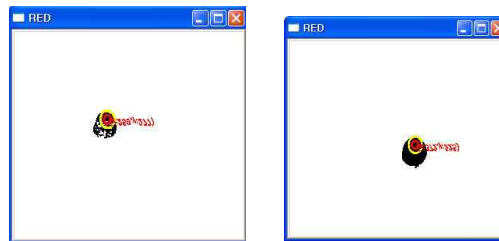
$$\text{팽창 : } A \oplus B = A \ominus (-B)^c \quad (4)$$

$$\text{침식 : } A \ominus B = x : B + x < A \quad (5)$$

$$\text{열림 : } A \circ B = (A \ominus B) \oplus B \quad (6)$$

$$\text{닫힘 : } A \bullet B = (A \oplus B) \ominus B \quad (7)$$

모폴로지는 위의 연산 작업을 반복적으로 적용하여 잡음을 제거하고 물체의 형태를 뚜렷하게 하는 효과가 있다. 따라서 형태가 부분적으로 온전하지 않은 마커의 경우에도 중심점 찾기에 적절한 형태로 처리가 가능하게 된다.



(a) 모폴로지 사용 전 (b) 모폴로지 사용 후

그림 7. 모폴로지 연산에 따른 결과 영상.
Fig. 7 The Result Image through Morphological Operation.

위의 그림 7(b)는 그림 7(a)의 영상에 모폴로지를 적용하여 처리한 결과영상을 보여준다. 입력영상을 특정한 값으로 2진화하고 모폴로지의 팽창 연산 후, 침식 연산을 적용한 결과이다. 위에 그림에서 볼 수 있듯 Noise 때문에 좁게 떨어진 부분이 모두 이어져 있는 것을 볼 수 있다. 그리고 전체적으로 영상이 부드러워 졌음을 알 수 있다.

3.3 색의 중심점 검출

마커영역이 얻어지면 3차원 공간에서 마커의 위치를 측정하기 위해 그 중심점을 정확히 측정하는 작업이 필요하다. 전처리 과정을 거친 이진화된 영상에서 검출된 마커의 중심점은 마커화소들의 평균값으로 결정한다. 영상에서 마커내의 화소 인자 아닌지를 나타내는 함수는 $p(x_i, y_j)$ 로 마커내의 화소

이면 1의 값을, 아닌 경우는 0의 값을 갖도록 하면, 마커의 중심점 (x, y) 는 다음의 식으로 얻어진다.

$$Mean(x) = \frac{\sum_{i=1}^8 \sum_{j=1}^6 x_i p(x_i, y_j)}{\sum_{i=1}^8 \sum_{j=1}^6 p(x_i, y_j)} \quad (8)$$

$$Mean(y) = \frac{\sum_{i=1}^8 \sum_{j=1}^6 y_j p(x_i, y_j)}{\sum_{i=1}^8 \sum_{j=1}^6 p(x_i, y_j)} \quad (9)$$

IV. 동작센서와 영상센서의 융합

영상에서 측정한 마커의 2차원 위치를 3차원 포즈로 변환하기 위해서 가속도 센서와 자이로 센서를 결합하여 만든 동작센서를 사용하여 마커의 움직임 정보를 측정하여 융합한다.

4.1 가속도센서와 자이로센서의 융합

1) 가속도 센서는 3축에 대한 가속도 정보를 측정하여 각 축에서 기울어진 각도를 측정한다. 따라서 3개의 가속도 센서가 사용되며 센서의 Z축은 중력 축 즉 지구와 수직하는 방향이 되고 이때 지구 중력은 1g 출력($1g \equiv -9.8m/s^2$)이 되도록 센서를 조정한다. 센서의 출력은 1g에서 -1g로, 0에서 180o까지의 변화를 측정할 수 있다.

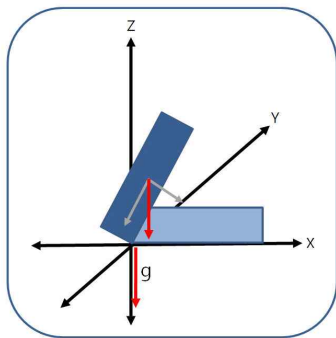


그림 8. 가속도 센서를 이용한 각도 측정.
Fig.8. Angle Measurement through Acceleration Sensor.

위의 그림 8은 센서의 출력으로부터 지구의 중력 축과 기울어진 센서 방향과의 사이 각을 계산하는 방법을 보여준다. 여기서 센서가 Y축을 중심으로 θ 만큼 기울었다고 했을 때, 중력 g 는 센서 내부에 X축 방향으로 각각 $gsin\beta$ 와 $gcos\beta$ 로 분해되어 측정된다. 물론 Y축은 나란한 방향으

로 중력장의 변화가 없으므로 일정한 값을 출력한다. 센서의 출력은 중력에 대응하는 전압으로 나타나며 센서의 중력에 대한 민감도 S에 대해 다음의 식 (10)과 같은 값을 갖는다. S는 기본 값이 1이 되도록 설정되어서 센서의 출력은 기울어진 각도에 대응하여 변화하게 되며 따라서 기울어진 각도는 다음과 같이 계산된다.

$$V_{OUTY} = V_{OFF} + S \times \sin \beta$$

$$\beta = \sin^{-1} \left[\frac{V_{OUTY} - V_{OFF}}{S} \right] \quad (10)$$

그림 9에서 주어진 대로 XY축을 중심으로 회전한 각도 α 는 센서 출력을 식 (10)에 적용하여 구하게 된다.

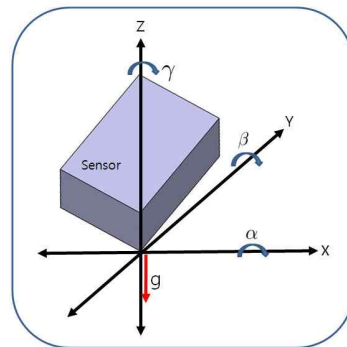


그림 9. 가속도 센서의 자세.
Fig.9. Position of Acceleration sensor.

Z축을 중심으로 회전한 각도 γ 의 경우는 중력가속도의 변화에 영향을 받지 않아 가속도 센서로 구하기 힘들다. 따라서 지자기 센서를 이용하여 지구의 자기방향과의 관계(방위각)를 이용하여 측정한다.[6] 그러나 가속도센서의 측정값에는 센서 자체 내의 가속도로 인한 오차, 회전 반경에 대한 오차가 포함된다.

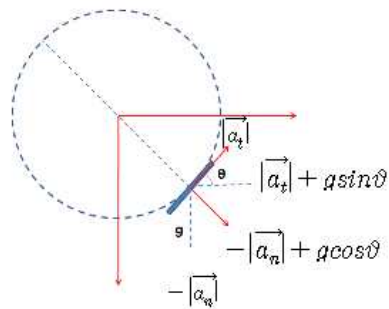


그림 10. 가속도 센서의 회전각도 추출의 문제점.
Fig.10. The Problem of Acceleration Sensor's Angle Measurement.

예를 들어 그림 10에서 보는 바와 같이 가속도 센서가 회전 중심축에 있지 못하면, 가속도 센서는 접선방향의 성분 ($g \sin \theta$)과 법선방향의 성분($g \cos \theta$)만을 측정하는 문제가 발생한다. 따라서 급격한 가속상태에서 가속도 센서만으로 센서의 자세정보를 얻기가 쉽지 않다. 이를 보정하기 위해서는 각속도 센서를 이용한다. 이때, 가속도 센서의 자세정보는 오차 보정을 위한 참고로 이용된다.

2) 자이로 센서는 각 축에 대해 회전한 각속도를 전압으로 출력한다. 따라서 단위시간당 센서출력을 다음과 같이 적분하면 각도 값을 얻을 수 있다.

$$\theta \approx \int V_x dt \quad (11)$$

자이로 센서는 가속도 센서처럼 변위적인 운동에 영향을 받지 않고 진동에도 영향을 받지 않는다. 다만 회전운동적인 진동에는 취약한 특성이 있고 적분으로 인한 오차의 누적 현상이 발생할 수 있으나 상대적으로 짧은 시간 고주파수 영역에서는 값의 신뢰도가 높은 장점이 있다.[7]

3) 가속도센서의 저주파 영역에서의 장점과 자이로 센서의 고주파 영역에서의 장점을 고루 취하기 위해 본 논문에서는 가속도 센서와 자이로 센서를 융합한 동작센서를 이용하여 각도를 측정한다. Z축을 중심으로 한 회전각의 경우, 가속도센서에서는 제공되지 않으므로 자이로 센서만을 이용하여 계산하게 된다[8]. 이로 인한 Z축을 중심으로 한 회전각은 오차 누적으로 인해 발생이 가능한데, 이 문제는 지구 자기장을 측정하는 지자기 센서를 장착하여 자이로 센서의 회전각을 보정하여 해결한다. X축과 Y축을 중심으로 한 회전각도들은 아래의 그림 11과 같은 방법으로 융합하며 그 과정을 식 (14)와 (15)로 표현할 수 있다[9].

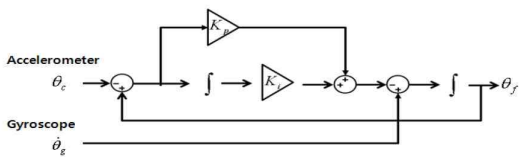


그림 11. 가속도 센서와 자이로 센서를 이용한 각도 추출
Fig.11. Find Angle by Acceleration sensor & Gyro Sensor

$$\theta_f = \frac{1}{s} [\theta_g - (K_p + \frac{1}{s} K_i)(\theta_f - \theta_c)] \quad (12)$$

$$\theta_f = \frac{S^2}{S^2 + K_p s + K_i} (\frac{1}{s} \theta_g) + \frac{K_p s + K_i}{s^2 + K_p s + K_i} \theta_c \quad (13)$$

위 식에서 θ_c 는 가속도센서에서 얻어지는 각도 값을, θ_g 는 자이로 센서에서 얻어지는 각도 값을, K_p 와 K_i 는 센서계수로 실험을 통해 결정된다.

4.2 영상과 동작센서의 융합

본 논문에서 제안하는 모션 캡처 시스템은 그림 12에서 보여주는 것과 같이 광학센서와 동작센서를 융합한 하이브리드 형태이다. 모션 캡처의 센서가 위치한 부분(어깨, 손목)에는 자세를 측정하는 동작센서와 영상처리를 위한 색 마커가 위치하게 된다. 그림 12에서 보이는 X-Y평면이 카메라와 수직인 2차원 평면으로 영상정보와 자세정보를 모두 얻는 좌표 구간이다. 이러한 Z축 영역과 Optical 영역의 불완전한 부분을 보완하여 모션 캡처를 완성한다.

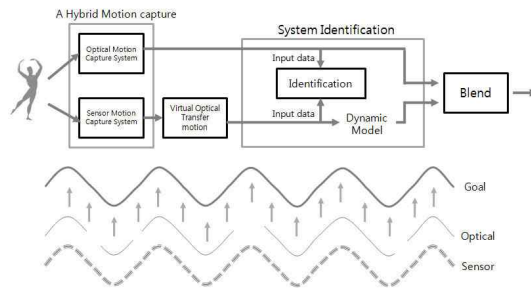


그림 12. 영상과 동작센서의 융합
Fig.12 Fusion of Image Sensor and Motion Sensor.

III장에서 설명한 바와 같이 영상센서는 사람의 정면에 설치되는 한 개의 카메라로 컬러마커의 2차원 위치를 측정한다. 사람의 팔의 어깨에서 팔꿈치, 팔꿈치에서 손목까지의 길이가 주어진다고 가정하면 어깨에 부착된 마커를 기준으로 팔꿈치의 위치를, 그리고 손목에 부착된 마커를 기준으로 손목의 위치를 동작센서가 측정한 3차원 위치 각도를 이용하여 계산할 수 있다.

아래의 그림13에서 원점(a, b, c)은 어깨의 좌표를 의미한다. 그리고 (d, e, f)는 팔꿈치의 좌표를 의미한다. 그리고 M과 N은 각각 팔꿈치에서 어깨까지의 거리와 팔꿈치에서 손목까지의 거리를 의미한다. 어깨를 중심으로 일정한 거리를 알 수 있고 센서를 통하여 팔의 자세를 알게 됨에 따라서 전체적인 팔의 모션 캡처를 가능하게 한다. 어깨를 중심으로 팔꿈치의 위치를 도출한 후 팔꿈치를 중심으로 같은 과정을 반복하게 된다.

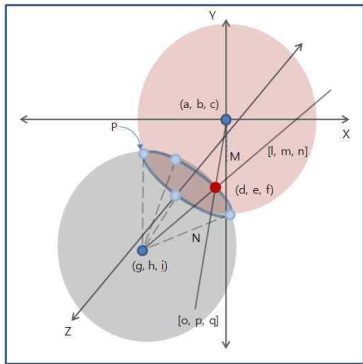


그림 13. 팔의 좌표계
Fig. 13 Coordinates of an Arm.

$$\text{구 } A: (x-a)^2 + (y-b)^2 + (z-c)^2 = M^2$$

방향벡터가 $\langle o, p, q \rangle$ 이고 (d, e, f) 를 지나는 직선의 방정식

$$\begin{aligned} x &= d + ot \\ y &= e + pt \\ z &= f + qt \end{aligned}$$

어깨를 중심으로 일정한 거리에 위치한 팔꿈치에 방향 벡터 인 센서 값이 더해지면 위의 식을 연립하는 방식으로 한 점을 구할 수 있게 된다. 또한 이점(팔꿈치의 위치)을 중심으로 하여 팔목의 위치를 구하게 된다. 여기서 X-Y평면 좌표는 카메라를 통해 얻어 질 수 있고 방향 벡터는 센서 값을 통해 얻어 지게 된다.

V. 실험 및 고찰

5.1 시스템 사양 및 실험 환경

본 실험은 상반신의 동작을 캡처하여 시각적으로 보여주는 것을 목표로 정하였다, 하반신의 경우 추가적인 마커와 센서의 설치를 통해 확장이 가능하기 때문이다. 실험을 위해 한 쪽 팔에 부착되는 센서의 위치와 마커의 위치를 그림 14에서 보여준다.

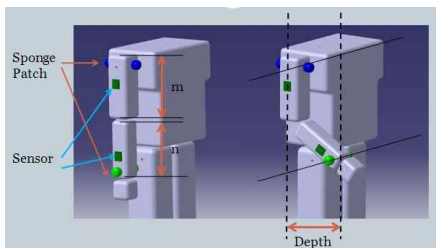
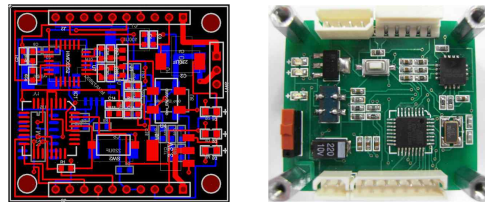


그림 14. 모션 캡처 장치.
Fig. 14 Motion capture device.

본 실험에서는 320*240 크기의 영상을 30fps로 출력하는 카메라와 3축가속도 센서와 3축 자이로 센서가 융합된 동작 센서를 사용한다. 동작센서는 무선통신모듈을 이용하여 PC에 송신할 수 있도록 그림 15와 같이 제작하였다.



(a) Layout PCB (b) 완성된 PCB

그림 15. 모션 센서.
Fig. 15 Motion Sensor.

5.2 모션 캡처 결과

그림 16은 손목 부분에 착용한 동작센서 모듈에서 출력되는 손목의 위치의 변화에 따른 X, Y, Z 각 축을 중심으로 한 각도의 변화를 나타낸 것이다. 이 값들은 손목이 가리키는 방향 벡터를 나타내며 이를 영상에서 나타난 손목의 위치와 결합하면 손목의 방향 뿐 아니라 팔꿈치의 위치를 구할 수 있게 된다. 이와 관련된 실험 동영상의 URL은 아래와 같다.

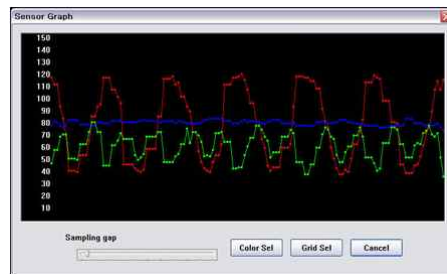


그림 16. 가속도 센서의 출력 동영상 URL:
<http://blog.naver.com/84bk/120090698730>
Fig. 16 Output of Accelation sensor.

다음의 그림 17은 영상센서에서 얻어진 각 마커의 움직임에 동작센서에서 얻어진 방향벡터를 접목한 실험결과를 보여준다. 그림의 중앙 상자들은 동작센서의 각축에 대한 회전각을 보여주고 우측의 하단에 주어진 창은 영상에서 마커를 색상별로 구분하여 그 중심점의 위치를 검출한 결과를 보여준다. 동작센서의 방향벡터는 마커의 중심점을 기준으로 접목되며, 캡처된 동작은 왼쪽 창에서 OpenGL 을 이용하여 3D로 사람형태를 그래픽스로 재연된다[10].

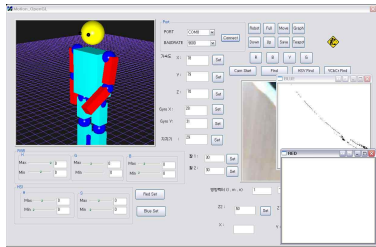


그림 17. 실험 플랫폼의 GUI: URL
<http://blog.naver.com/84bk/120090698352>
 Fig. 17 GUI of the experiment platform.

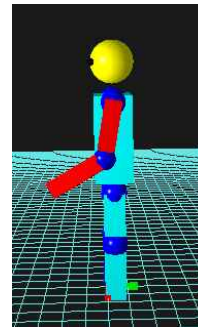
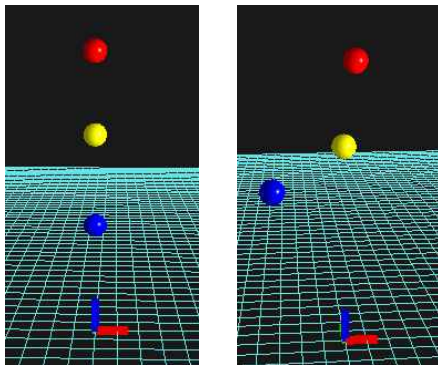


그림 19. 로봇의 팔 움직임 표현
 Fig. 19 Motion Expression of Robot's Articulated Joint.

OpenGL을 이용한 그래픽스 표현은 원하는 부위의 동작만을 보여줄 수도 있다. 예를 들어 그림 18은 사람이 팔을 일직선으로 내렸을 경우와 팔을 들었을 때의 팔 동작만을 보여준다.

팔 동작의 재연은 어깨를 중심으로 팔꿈치의 위치와 손목의 위치를 차례대로 구하는 방법으로 구현된다. 이들은 각각 독자적인 좌표계를 갖는다.



(a) 일직선으로 팔을 (b) 팔을 들었을 경우내렸을 경우

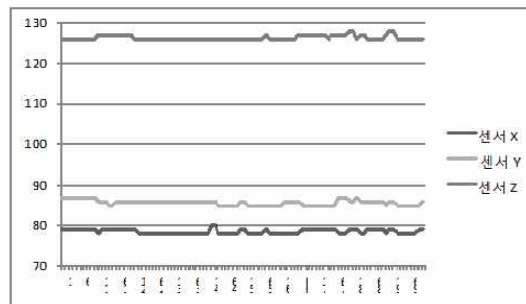
그림 18. OpenGL을 이용한 팔 관절 움직임 표현
 Fig. 18 Motion Expression of Articulated Joint.

그림 18에서 어깨는 빨간색 구, 팔꿈치는 노란색 구, 손목은 파란색 구를 나타낸다. 팔꿈치로 나타낸 노란색 구는 어깨에 상대적으로 회전할 수 있다. 어깨 관절을 나타내는 빨간색 구가 회전하면 노란구와 파란구도 회전한다. 파란색 구는 노란색 구에 상대적으로 회전할 수 있다. 노란색 구나 빨간색 구가 회전하면 파란색 구 역시 회전한다. 노란 구는 팔꿈치로 어깨부터의 팔 길이만큼 아래에 위치하므로 이동변환이 사용되었다. 여기서 팔 길이는 사용자가 입력하도록 하였다. 파란색 구인 손목은 노란색 구인 팔꿈치 아래에 위치하므로 팔꿈치에서 손목까지 팔 길이만큼 이동하여 그려진다. 행렬은 앞서 사용된 변환이 계속 축적되는 형식을 취했다. 위의 팔 동작을 몸통과 연계하여 표현한 결과는 그림 19에서 보인다.

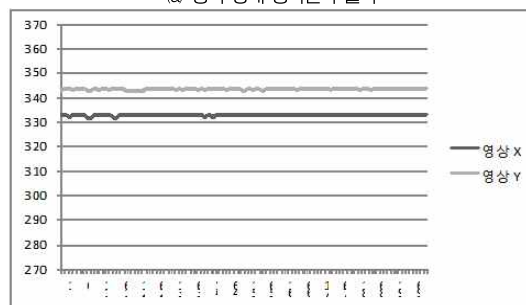
5.3 실험 결과 분석

아래의 그림 20은 정지 상태, 등속도로 움직일 때, 반복 진자운동의 3가지 상황에서 영상센서와 동작센서의 출력 값을 보여준다. 각 상황에서 두 가지 센서의 입력 값을 비교해 봄으로써 정확성 및 효율성을 확인할 수 있다.

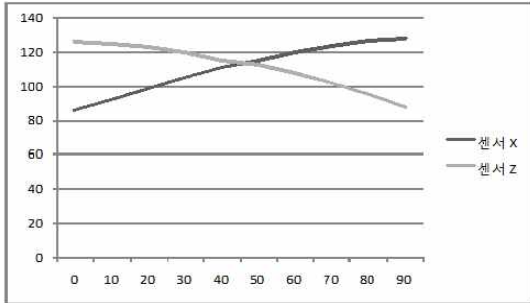
먼저 정지 상태의 센서 출력 그림 (a)와 (b)를 비교해 보면 불규칙한 노이즈가 있는 동작센서 데이터에 비해 영상센서는 안정적인 출력을 보여준다. 그림 (c)와 (d)의 경우는 팔이 일정한 각도로 움직일 때 이에 대한 동작센서 값의 변화와 팔의 마커의 좌표 변화를 나타내었다. 제자리에서 자세가 이동하는 각도에서는 동작센서 출력 변화량이 더 효과적임을 볼 수 있다.



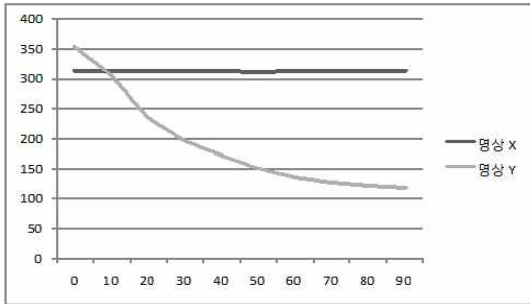
(a) 정지 상태 동작센서 출력



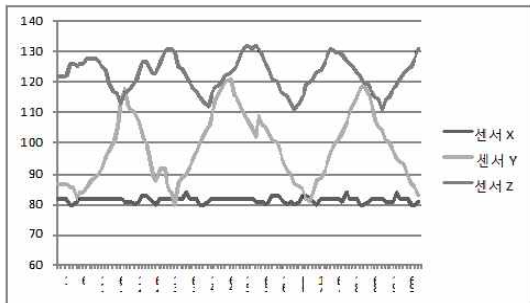
(b) 정지 상태 영상센서 출력



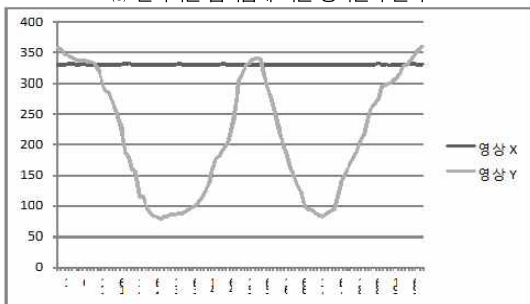
(c) 등속도 운동에서 동작센서 출력



(d) 등속도 운동에 영상 정보 출력



(e) 연속적인 움직임에 따른 동작센서 출력



(f) 연속적인 움직임에 따른 영상센서 출력

그림 20. 3가지 상황에서 동작센서와 영상센서의 출력.
Fig. 20 Outputs of Motion & Vision sensors in 3 different cases.

마지막 두 그래프 (그림 (e)와 (f))는 한 축으로의 움직임의 반복적인 변화에 따른 센서와 영상의 값 변화를 나타낸 모습이다. 동작센서의 경우 움직임에는 민감하지만 그로인해 잡음이 많음을 알 수 있다. 특히 방향이 바뀌는 점에서 문제점이 있다. 또한 움직임이 느리거나 속도의 변화가 없을 경우 동작센서에서 나오는 신호 대 잡음비가 낮기 때문에 위치와 자세 데이터의 오차가 누적되는 단점이 있다. 모션의 특성과 센서의 특성으로 인해 경우에 따른 차이를 알 수 있다. 이렇게 두 가지 타입의 센서를 각 경우에서 살펴 볼 때 상황에 따라 센서의 특성에 따라 측정에 있어서 장단점이 있고 정확도에 있어서도 그 차이가 있음을 알 수 있다. 따라서 이번 실험에서는 이와 같은 차이를 이용하여 성능을 개선할 수 있었다. 위와 같이 각각의 차이를 나타내는 마커와 센서를 이용하여 동일한 정확도에서 효율성을 높이는 데 중점을 두었다. 물론 센서의 수를 증가하여 측정의 수를 증가 시키면 문제점을 해결 할 수 있지만 이는 시스템의 효율성을 떨어뜨린다.

이렇게 기존의 시스템은 정확성에 비해 그 효율성이 현저하게 떨어짐으로서 어려움을 많이 겪었다. 이에 비해 간단한 장비로 최대한의 효율성을 내기 위해서는 각각의 방식의 단점을 보완할 필요가 있다. 그림 21은 본 논문과 유사한 기존에 제시 된 옵티컬 방식과 센서 방식의 복합된 예시 이다. 우선 팔 한쪽에 마그네틱 센서 2개와 옵티컬 마커 4개 등으로 그 수가 많아 효율성에서 떨어지며 아직 각각의 영상마커와 센서에 대한 관계가 명확하지 않다. 현재 경우는 측정구간의 중간 부분은 입력 값의 변화가 뚜렷하다. 상대적으로 가장자리 부분에서는 두 가지 센서 방식에 상관성에 대해 좀 더 깊은 연구를 통해 모든 영역에서 정확성을 보장해야 한다.

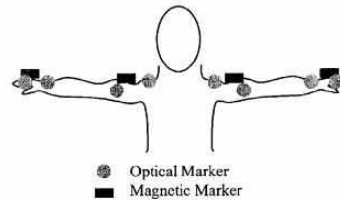


그림 21. 혼합방식 모션 캡처
Fig. 21. Hybrid Motion capture

종합해 볼 때, 기존의 모션캡처 방식은 효율성 면에서 떨어짐을 알 수 있다. 모션 캡처의 활용도가 점차적으로 늘어나는 이 시점에서 다양한 형태의 접근이 필요하다. 영화 및 게임[11] 등 정확한 묘사가 필요한 부분 외에도 다양한 부분에서 보다 간편하고 효율적인 모션 캡처 또한 필요하다. 단일 카메라와 몇 개의 모션센서를 통해 보다 손쉽게 모션 캡처가 가능하다면 여러 분야에서 응용 가능 할 것이다.

VI. 결론

본 논문에서는 영상에서의 위치정보와 동작센서를 통한 방향정보를 이용하여 대상의 모션을 인식하는 기법을 제안하였다. 보다 간단한 모션 캡처 시스템으로서 단일 카메라로 가능하게 구현하였으며 이로 인해 발생하는 깊이정보의 부재에 따른 간섭 등의 현상을 동작센서를 이용하여 해결 하였다. 이 과정에서 위치와 방향정보를 통해 최소한의 마커만으로 모션 캡처에 필요한 관절 부분의 좌표를 모두 입력 받을 수 있었다. 기존의 영상에서 처리하던 모든 데이터를 센서파트와 분할하여 시스템에 걸리는 부담을 줄일 수 있었고 이에 따라 모션 캡처를 위한 전문 장비를 사용하지 않고 움직임을 잡아 낼 수 있었다. 하지만 카메라의 한계로 인해 입력되는 영상의 속도에 따른 시간 차이가 발생하고 이 차이가 누적되면 인식오차가 발생하는 문제가 있다. 앞으로의 연구에서는 두 종류의 센서를 융합하는 기준을 명확히 하고 이들 사이에서 생기는 오차에 대해 명확히 분리할 필요가 있다. 실험결과는 제안된 저렴하고 단순한 동작 측정시스템을 통해 3차원 모션캡처가 효과적으로 가능함을 보여주었고 있다.

참고문헌

[1] 전풍우, 정슬, "Exoskeleton 형태의 모션 캡처 장치를 이용한 이동로봇의 원격 제어," 제어 자동화 시스템공학 논문지, 제 10권, 434-441쪽, 2004년 5월.

[2] 한창호, 서평원, 김순철, 유영기, 오춘석, "모션캡처 시스템에서 3차원 데이터 획득의 정확도 개선을 위한 연구," 한국컴퓨터종합학술대회, 제 35권, 503-506쪽, 2008년 6월.

[3] 이철우, 김태은, "제스처 인식과 응용에 관한 연구," 정보통신기반영상예술컨텐츠기술워크샵, 1-11쪽, 2001년.

[4] 서평원, 김유건, 한창호, 유영기, "일정간격의 두 능동마커를 이용한 저가형 PSD 모션캡처 시스템 개발," 전자공학회, 제 46권, 61-71쪽, 2009년 3월.

[5] 노일순, "3D motion sensor를 이용한 모션캡처 기술 연구," 한국인터넷방송통신TV학회, 제7권, 45-52쪽, 2007년 12월.

[6] Vadym Grygorenko, "Magnetic Compass with Tilt Compensation," Cypress Application Note, 2005.

[7] 정일권, 박찬중, 김형교, 원광연, "모션 캡처 시스템을 위한 센서 퓨전" 한국컴퓨터그래픽스학회, 제 6권, 9-15쪽, 2000년.

[8] Luinge, H.J. and Veltink, P.H., "Measuring orientation of human body segments using miniature

gyroscopes and accelerometers," Medical and Biological Engineering and Computing, Vol 43, pp. 273-282, April 2005.

[9] Ji Hoon Kim, Hyung Gi Min, Jae Dong Cho, Jae Hoon Jang, Sung-Ha Kwon, Eun Tae Jeung, "Design of angular estimator of inertial sensor using the least square method," World Academy of Science, Engineering and Technology, pp 502 - 505, June 2009.

[10] 최태준, 이동렬, 손종남, 김태일, "디지털 모션캡처(Digital Motion Capture)시스템의 개요 및 3D게임 캐릭터 애니메이션 적용," 한국콘텐츠학회, 제 4권, 257 -263쪽, 2006년 11월.

[11] 정규만, "게임을 위한 모션 캡처 데이터 변형 기법 분류," 한국컴퓨터정보학회, 제17권, 31-36쪽, 2009년 6월.

저자소개



김 병 열

2009 : 숭실대 정보통신전자공학부 학사
 2009-현재 : 숭실대 대학원 전자공학과 석사과정
 관심분야 : 모션캡처 로봇제어 영상처리



한 영 준

1996 : 숭실대 전자공학과 학사.
 1998 : 숭실대 전자공학과 석사.
 2003 : 숭실대 전자공학과 박사.
 2009-현재 : 숭실대 정보통신전자공학부 부교수.
 관심분야 : 로봇 비전, 영상처리, 비주얼서보잉



한 현 수

1991: University of Southern California (공학박사).
 1992-현재 : 숭실대 정보통신전자공학부 교수.
 1994 : 일본기계기술 연구소 객원연구원
 1998 : 숭실대학교 어학원장.
 1999 : 숭실대학교 정보통신전자공학부 학부장.
 관심분야 : 자동화 시스템, 자료융합, 물체인식