

# 최소 마커 기반의 영공간 매핑을 이용한 가상공간 아바타 동작 생성

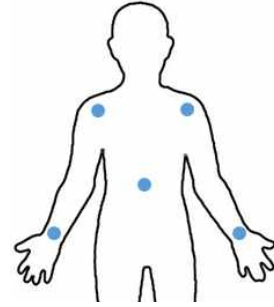
김민철<sup>1</sup>, Romain Destenay<sup>1</sup>, 김상현<sup>2</sup>, 권정흠<sup>1</sup>, 염기원<sup>1</sup>, 박재흥<sup>2</sup> 유병재<sup>1,3</sup>  
 실감교류인체감응솔루션 연구단<sup>1</sup>, 서울대학교 융합대학원<sup>2</sup>, 한국과학기술연구원 로봇연구단<sup>3</sup>

## Avatar Motion Generation by Null-Space Mapping Based on Minimum Number of Markers

Mincheol Kim<sup>1</sup>, Romain Destenay<sup>1</sup>, Sanghyun Kim<sup>2</sup>, Joungheum Kwon<sup>1</sup>, Kiwon Yeom<sup>1</sup>, Jeaheung Park<sup>2</sup>, Bum-Jae You<sup>1,3</sup>  
 Center of Human-centered Interaction for Coexistence<sup>1</sup>, Graduate School of Convergence Science and Technology,  
 Seoul National University<sup>2</sup>, Center for Robotics Research, KIST<sup>3</sup>

### Abstract

본 논문은 모션 캡처 장치 기반의 사용자 동작 인식을 통한 가상의 휴먼 아바타 상체 동작 제어에 관한 알고리즘을 제안한다. 일반적으로 모션 캡처 장치를 이용하여 사용자의 동작을 인식하기 위해서는 많은 수의 마커를 인체의 관절에 부착해야 하므로 편의성이 저하 된다. 특히 사용자의 동작 인식을 기반한 체험형 실감 미디어의 경우, 사용자의 모든 관절에 대한 정확한 움직임 데이터보다는 착용감에 대한 요구와 손목 말단의 위치 정확도를 우선시 하고 있다. 이러한 기술적 요구에 따라 본 논문에서 여자유도 영공간 매핑을 이용하여 손목 말단의 위치 정확도를 우선시 하며 사용자의 움직임에 대한 최대한 자연스러운 동작 모방을 이루고자 했다. 제안하는 알고리즘을 통하여 사용자에게 부착해야하는 마커 수를 획기적으로 줄여 장비의 착용편의성을 높일 수 있었으며, 손목 말단의 위치 값을 유지하면서도 자연스러운 아바타 상체 동작 제어가 가능했다.



[그림 1] 사용자의 신체에서 받아오는 모션 캡처 데이터 (양쪽 어깨, 양쪽 손목, 몸통의 3D 위치)

### 1. 서 론

최근 3D 콘텐츠의 사용이 급증함에 따라 체험형 실감미디어에 대한 요구가 점차 증가하고 있다. 체험형 실감미디어는 영화나 게임 분야에 한정적으로 활용되어지고 있었으나 그 기술의 발달에 따라 점차 그 활용도가 높아지고 있다. 이러한 기술 변화의 요구에 따라 사용자의 동작을 생성하는 모션 캡처 장비에 대한 수요가 높아지고 있으며, 착용의 편의성이 강조되어지고 있다. 또한 체험형 실감미디어 관련 기술 경쟁 사항으로 사용자의 손목 말단 위치의 정확성이 대두되고 있다. 이는 사용자의 손을 이용하여 가상의 객체를 조작하는데 중요한 기술이다.

실시간 가상 휴먼아바타 조작용을 위한 모션캡처 시스템에서 3차원 데이터 획득의 정확도 개선을 위한 연구가 활발하게 진행되어 지고 있다. [1]에서는 모션 캡처와, 아바타의 동작 생성, 그리고 이 모든 작업에 실시간성을 보장하기 위해서 데이터 관리를 어떤 방향으로 잡아야 하는지에 대한 연구를 진행했다. [2]에서는 실시간으로 받아오는 모션 캡처 데이터에 대하여, 왜곡 계수를 계산 후 z축 거리에 대한 오차를 보상함으로써 데이터의 정확도를 높이는 방향으로 연구를 진행하였다. 왜곡 계수의 경우는 OpenCV로 얻어진다. 이러한 연구들은 마커 개수의 최소화, 필요성을 정확하게 이야기 해주고 있다. 캡처되는 마커의 개수는 곧 연산량을 의미하고, 마커의 개수가 많아질수록 왜곡의 절대적인 양도 많아진다는 의미를 갖게 되므로 마커의 개수는 작아지면 작아질수록 개발자 입장에서는 손쉽고 정확한 데이터 처리가 가능해진다는 의미가 된다. 하지만 기존에 제시된 방법들은 동작 모방을 위해 마커의 개수가 지나치게 많은 경우가 많아서 언급한 문제점을 의외에도 사용자들에게 불편하게 다가올 수 있는 가능성이 있다.

본 논문에서는 사용자의 편의성을 고려하여 최소한의 마커를 사용한 아바타 동작 생성에 대한 내용을 다룰 것이다. 또한, 여유 자유도에 의해 생성되는 영공간상에서 팔꿈치의 움직임을 모방하는 알고리즘을 제안한다. 추가적으로, 가상의 공간상에서 원활한 객체 조작용을 위하여 손목의 위치 정확도의 우선순위를 높게 잡아 매핑 결과의 위치 오차를 최소화하였다.

### 2. 본 론

사용하는 마커의 개수를 최소화하기 위해 몸통 1개, 양 어깨 2개, 양 손목 2개 조인트 위치 정보를 받아오고, 추가로 양쪽 손목에 장착한 IMU 센서를 이용하여 손목의 오리엔테이션 정보를 받아온다. 이를 그림으로 표현하면 [그림 1]과 같이 표현된다. 팔꿈치 각도의 경우 사용자의 팔 길이 정보를 이용하여 코사인 제 2 법칙을 사용해 구할 수 있다. 손목의 오리엔테이션 정보와 위치 정보를 기반으로 역기구학을 통해 팔꿈치 오리엔테이션을 계산해주고 최종적으로 아바타의 팔을 생성 해주었다.

한 팔에 사용하는 마커의 개수는 어깨의 위치와 손목의 위치를 구하기 위해 2개의 마커( $x_{shoulder}$  와  $x_{hand}$ )를 사용한다.

추종을 위한 구체적인 수식은 다음과 같다.

먼저 팔꿈치에 있는 관절각( $q_{elbow}$ )을 구하기 위해 아바타의 팔 길이와 사용자의 어깨 마커와 손 마커 사이의 거리를 구해 [식 1]과 같은 제 2 코사인 법칙을 사용하여 구한다.

$$\text{norm}(x_{hand} - x_{shoulder}) = L_{human}$$

$$q_{elbow} = \arccos\left(\frac{L_{a,upper}^2 + L_{a,lower}^2 - L_{human}^2}{2 \times L_{a,upper} \times L_{a,lower}}\right) \quad [\text{식 1}]$$

이 때,  $L_{a,upper}$  와  $L_{a,lower}$  는 각각 아바타의 어깨부터 팔꿈치까지의 거리와 팔꿈치부터 손목까지의 거리를 의미한다.

그 다음 어깨 조인트를 이용하여 사용자의 손목 말단 위치를 생성한다. 가상공간에서의 아바타 모델 생성의 경우 매 프레임마다 기본 T-자세에서 현재 포즈로 매핑해주는 과정을 반복 수행한다. 가장 먼저 이루어져야하는 작업은, 아바타의 기본 T-자세에서 팔꿈치만 해당 관절각( $q_{elbow}$ ) 만큼 회전한 상태로부터 일차적으로 어깨 조인트의 관절 2개(x 방향, y 방향)를 이용해 손목 끝의 위치를 (0, 0, a)으로 돌려주는 작업이다. 즉, 아바타의 어깨에서 바라보는 손목 말단의 위치 벡터  $p_a = (x, y, z)$ 를  $p_{a,temp} = (0, 0, a)$ 로 표현하기 위한 관계식은 [식 2]와 같다.

$$p_{a,temp} = Rot_y(q_{y,1}) \times Rot_x(q_{x,1}) \times p_a$$

$$p_{a,temp} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ a \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(q_{y,1}) & 0 & \sin(q_{y,1}) \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin(q_{y,1}) & 0 & \cos(q_{y,1}) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(q_{x,1}) - \sin(q_{x,1}) \\ 0 & \sin(q_{x,1}) & \cos(q_{x,1}) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ a \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(q_{y,1})x + \sin(q_{y,1})\sin(q_{x,1})y + \sin(q_{y,1})\cos(q_{x,1})z \\ \cos(q_{x,1})y - \sin(q_{x,1})z \\ -\sin(q_{y,1})x + \cos(q_{y,1})\sin(q_{x,1})y + \cos(q_{y,1})\cos(q_{x,1})z \end{bmatrix} \quad [\text{식 2}]$$

이 때  $Rot_x$ ,  $Rot_y$  는 순서대로 각각 3 by 3 x방향, y방향 회전 행렬을 의미하며, [식 2]를 이용하여 [식 3]을 유도할 수 있고, 순차적으로  $q_{x,1}$  과  $q_{y,1}$  를 구할 수 있다.

$$\tan(q_{x,1}) = \frac{y}{z}, \tan(q_{y,1}) = -\frac{x}{\sin(q_{x,1})y + \cos(q_{x,1})z} \quad [\text{식 3}]$$

이렇게, 얻어진  $p_{a,temp} = (0, 0, a)$ 는 z방향 회전의 영향을 받지 않기

때문에 x방향, y방향의 어깨 조인트로만 사용자의 어깨부터 손까지의 위치 ( $x_a = x_{hand} - x_{shoulder}$ )를 맞추어 줄 수 있다. 나머지 z 방향 조인트로는 팔목의 회전을 표현한다.

$$x_a = Rot_z(q_{z,2}) \times Rot_y(q_{y,2}) \times p_{a,temp}$$

$$x_a = \begin{bmatrix} x_{a,a} \\ x_{a,b} \\ x_{a,c} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(q_{z,2}) & -\sin(q_{z,2}) & 0 \\ \sin(q_{z,2}) & \cos(q_{z,2}) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos(q_{y,2}) & 0 & \sin(q_{y,2}) \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin(q_{y,2}) & 0 & \cos(q_{y,2}) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ a \end{bmatrix}$$

$$x_a = \begin{bmatrix} x_{a,a} \\ x_{a,b} \\ x_{a,c} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a \sin(q_{y,2}) \cos(q_{z,2}) \\ a \sin(q_{y,2}) \sin(q_{z,2}) \\ a \cos(q_{y,2}) \end{bmatrix} \quad \text{[식 4]}$$

[식 4]을 이용하여 [식 5]를 유도할 수 있고, 이를 통해  $q_{z,2}$ 와  $q_{y,2}$ 를 구할 수 있다.

$$\tan(q_{z,2}) = \frac{x_{a,b}}{x_{a,a}}, \quad \tan(q_{y,2}) = \frac{\sqrt{x_{a,a}^2 + x_{a,b}^2}}{x_{a,c}} \quad \text{[식 5]}$$

마지막으로 아바타의 어깨 오리엔테이션 행렬 ( $Rot_{shoulder}$ )을 생성하기 위해 [식 2]와 [식 4]을 연계하여 [식 6]을 세울 수 있다. 이때,  $q_{z,3}$ 는 손목 끝의 위치가 (0, 0, a)로 맞추어져 있을 때, 팔을 절대 좌표계의 z축을 기준으로 회전시켜 팔목의 오리엔테이션을 맞추어 주는 역할을 한다.

$$Rot_{shoulder} = Rot_z(q_{z,2}) \times Rot_y(q_{y,2}) \times Rot_z(q_{z,3}) \times Rot_x(q_{x,1}) \times Rot_y(q_{y,1}) \quad \text{[식 6]}$$

또한, 아바타의 어깨 오리엔테이션 ( $Rot_{shoulder}$ )의 경우 팔꿈치 오리엔테이션 ( $Rot_{elbow}$ )과 단순 상대회전변환 관계에 놓여있으므로, [식 7]과 같이 관계를 수식화 할 수 있다.

$$Rot_{elbow} = Rot_{shoulder} \times Rot_y(q_{elbow}) \quad \text{[식 7]}$$

여기서 팔목의 오리엔테이션을 맞추어주는 역할을 하는  $q_{z,3}$ 를 계산하기 위해 [식 6]과 [식 7]을 연계하면 [식 8]이 얻어지고,

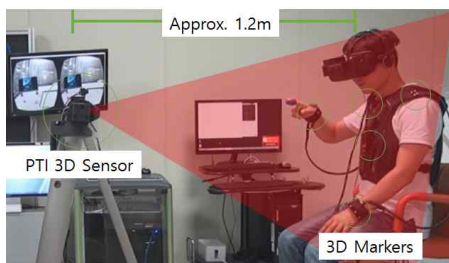
$$Rot_z(q_{z,3}) = Rot_y(q_{y,2})^{-1} \times Rot_z(q_{z,2})^{-1} \times Rot_{elbow} \times Rot_y(q_{elbow})^{-1} \times Rot_x(q_{x,1})^{-1} \quad \text{[식 8]}$$

$Rot_z(q_{z,3})$ 가 단순 회전변환이라는 사실을 이용하면, [식 9]과 같이  $q_{z,3}$ 를 계산할 수 있게 된다. 계산된 결과를 기반으로 어깨 오리엔테이션을 정해주는 과정을 거치면 실제 공간상에 존재하는 사용자의 움직임을 가상공간의 아바타의 움직임으로 변환할 수 있다.

$$Rot_z(q_{z,3}) = \begin{pmatrix} \cos(q_{z,3}) & -\sin(q_{z,3}) & 0 \\ \sin(q_{z,3}) & \cos(q_{z,3}) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad \text{[식 9]}$$

### 3. 결 론

본 논문에서 제안된 영공간을 활용한 아바타 동작 모방 알고리즘의 성능 테스트를 수행하기 위해, [그림 2]에서 보이는 바와 같이, PTI Phoenix 사의 모션 캡처 시스템을 사용하였다. 또한 [그림 1]에서 제시되어진 방법에 의거하여 마커를 사용자의 각 관절에 부착하고, 약 1.2m 떨어진 거리에서 동작 모방에 대한 성능 실험을 수행했다.

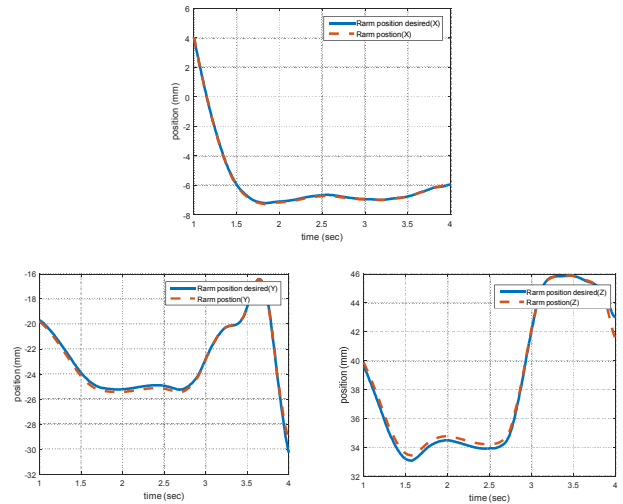


[그림 2] 제안된 알고리즘의 성능을 평가하기 위한 실험 환경

결과적으로 [그림 3]에서 나타난 것처럼 사용자의 움직임을 아바타가 적절히 모방하고 있는 것을 확인할 수 있다. 오른손 위치 오차의 경우 2cm 미만으로, 본 알고리즘의 정확도를 확인할 수 있었다. [그림 4]은 사용자의 손목의 위치와 그 때 생성된 아바타의 손목의 위치를 정량화 한 것이다.



[그림 3] 실제 공간에 존재하는 사용자의 움직임을 모방하는 가상 공간상의 아바타의 모습



[그림 4] 실제 사용자의 오른손 끝의 위치와 구현된 알고리즘을 통한 아바타의 오른손 끝 위치

본 논문에서 시사하는 바와 같이 손목 말단의 위치 오차의 최소화는 손을 이용한 가상의 객체조작을 위하여 중요하다. 이에 따라, 향후 위치 오차의 최소화를 위한 최적화 알고리즘을 적용하여 더욱 정밀한 동작 모방을 수행하고자 한다. 또한 추종하는 마커의 위치를 손가락 단위로 확장하여 제안된 알고리즘에 대한 확장을 고려하고 있다. 본 논문에서 제안된 알고리즘은 상체 모방에 한계성이 존재하므로, 추후 사용자의 하체 움직임에 대한 모방을 고려한 가상 휴먼 아바타의 상체 동작 생성 알고리즘을 개선하고자 한다. 특히, 체형형 실감 미디어의 활용성을 고려하여 착용의 편리성과 아바타의 자연스러운 동작 생성도 추후 연구에 있어 함께 고려할 것이다.

### 사 사

이 논문은 미래창조과학부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 <실감교류 인체감응솔루션> 글로벌프론티어사업으로 수행된 연구임. (NRFML1AXA003-2010-0029759)

### [참 고 문 헌]

- [1] 최혁재, 최홍렬, "실시간 가상캐릭터에 있어 모션캡처 애니메이션의 효율성에 관한 연구", 디지털디자인학연구, 7(2), 87-95, 2007
- [2] 한창호, 서평원, 김순철, 유연기, 오춘석, "모션캡처 시스템에서 3차원 데이터 획득의 정확도 개선을 위한 연구", 한국정보과학회 학술발표논문집, 35(1C), 503-506, 2008
- [3] 이인남, 임창동, 임상준, 권영민, "자가 관성항법장치 드리프트 제거에 관한 연구", 한국통신학회 학술대회논문집, 1004-1005, 2015