

## 역운동학을 이용한 3차원 수화 애니메이션의 키 프레임 에디터

○李 鍾雨\*, 金 商雲\*, 青木 由直\*\*

\* 明知大學校 컴퓨터工學科

\*\* 北海道大學大学院工學研究科

### Key-Frame Editor for 3D Sign-Language Animation Using Inverse Kinematics

○Jong-Woo Lee\*, Sang-Woon Kim\*, Yoshinao Aoki\*\*

\* Dept. of Computer Engineering, Myongji University

\*\* Graduate School of Engineering, Hokkaido University

jongwoo@wh.myongji.ac.kr

#### Abstract

In this paper we design a key-frame editor for 3D sign-language animation using the inverse kinematics. Using the editor, we can calculate the joint angles for two arms automatically. Up to now we have computed the values of the joint angles using the forward kinematics, where we have determined the values heuristically based on our experiences. To overcome the drawbacks, we employ the arm transformation matrix of the inverse kinematics. Experimental results show a possibility that the proposed method could be used for making up the sign-language communication dictionaries.

#### 1. 서론

멀티미디어 통신시대에서 수화통신은 언어의 벽을 넘을 수 있는 유용한 통신 수단이 될 수 있다. 또한 인터넷은 사회 구성원간의 중요한 통신 수단으로서, 인터넷 수화통신은 사이버 스페이스에서 자신을 상징화시킨 아바타(Avatar)[1]들 간의 대화 시스템으로 발전시킬 수 있다. 이러한 점에 주목하여 저자들은 인터넷상에 수화통신 시스템을 구현하여 그 가능성을 연구하여 왔다[2].

지금까지의 수화통신 시스템은 클라이언트/서버 시스템으로서, 클라이언트에서 입력된 문장을 서버로 송신하면 서버는 수신한 문장을 분석하여 해당하는 수화

단어를 파라미터로 변환하여 모든 클라이언트에게 전해주고 클라이언트는 전달받은 파라미터를 이용하여 수화 애니메이션을 생성하는 시스템이다[2].

이 때 수화 애니메이션 생성 방법은 키 프레임 방법으로, 서버에서 번역된 파라미터는 3차원 모델의 해당 프레임에 속하는 각 관절의 각도 값으로 이루어진다[3]. 따라서 수화 통신을 위해서는 수화 애니메이션을 생성할 수 있는 정확한 관절각 파라미터를 손쉽게 도출할 수 있어야 한다. 그러나 지금까지의 연구에서는 관절각을 바꾸어 가면서 제스처 프레임을 생성하여 보고 적절한 관절각 각도를 결정하였다. 따라서 하나의 키 프레임을 생성하는데 많은 시간과 노력이 필요하였으며, 자연스럽게 정확한 키 프레임을 얻기 위해서는 애니메이터의 숙련도에 의지 할 수밖에 없었다. 따라서 이 논문에서는 기존 에디터에 역운동학(Inverse Kinematics)[4]을 적용하여 키 프레임 생성에 필요한 관절각 파라미터 값을 자동적으로 결정할 수 있는 에디터를 제작한다.

역운동학이란 끝점(손의 위치)의 좌표값을 입력으로 받아 시작점에서 끝점까지의 각 관절의 파라미터 값을 계산할 수 있는 방법으로서, 이를 이용한 키 프레임 에디터로부터 얻을 수 있는 장점은 다음과 같다. 첫째, 손의 위치를 직접 제어하기 때문에 손을 특정 위치로 보내기 위한 반복되는 보정작업이 필요치 않게 된다. 둘째, 각 관절각 값의 수치를 직접 입력하지 않고 스크롤 디바이스(Mouse)를 이용하므로 애니메이터의 숙련도에 대한 의존도를 감소시킬 수 있다. 셋째, 키 프레임 생성 시간을 크게 줄일 수 있다.

이하 제 2장에서 수화 애니메이션을 생성하기 위해 필요한 파라미터 구조를 고찰한 다음, 제 3장에서는 역운동학을 이용하여 수화 관절각 파라미터 값을 계산하는 방법에 대하여 기술한다. 제 4장에서는 제작한 에디터를 이용하여 수화 애니메이션 생성하는 실험에 대하여 고찰한 후, 제 5장에서 결론을 맺는다.

## 2. 3D 수화 애니메이션을 위한 관절각 파라미터의 구조

수화는 손의 모양, 방향, 움직임, 위치로 의미를 전달한다. 이중에서 손의 위치는 어깨의 각도와 회전, 팔꿈치의 각도에 따라 결정된다. 손의 위치와 손바닥의 방향을 결정하는 어깨(Shoulder), 팔꿈치(Elbow), 손목(Wrist)의 자유도에 대한 3D 관절각 파라미터 구조는 그림 1과 같다.

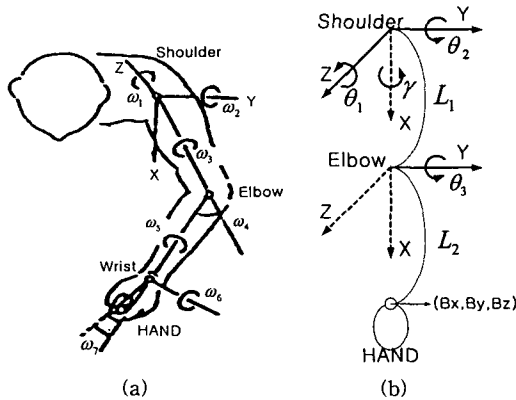


그림 1 (a) 팔(어깨 팔꿈치 손목) 관절각의 자유도 구조, (b) 필요한 관절각 계산을 위한 좌표계.  $L_1$ : 상박의 길이,  $L_2$ : 하박의 길이,  $B_x, B_y, B_z$ : 손의 절대 위치 좌표값

Fig. 1(a) Degree of freedom of arm(Shoulder, Elbow, and Wrist), (b) The coordinate system for calculating the needed arms' joint angles.  $L_1$ : the length of upper arm,  $L_2$ : the length of forearm,  $B_x, B_y, B_z$ : absolute coordinate values of hand.

그림 1(a)에서  $\omega_1, \omega_2, \omega_3$  는 어깨 관절을 중심으로 (X, Y, Z) 좌표계를 설정했을 때의 각 축을 중심으로 회전하는 각을 말하고,  $\omega_4, \omega_5$  는 팔꿈치 관절의 각도,  $\omega_6, \omega_7$  은 손목 관절의 각도이다. 여기서 7개의 자유도 중  $\omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4$  는 팔의 자세와 손의 위치를 결정하는 요소이고,  $\omega_5, \omega_6, \omega_7$  는 손의 방향을 결정하는 요소

이다. 따라서 수화 애니메이션을 생성하기 위해서는  $\omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4$  에 해당하는 관절각을 결정해야 한다.

그림 1(b)는 역운동학을 이용하여 끝점(손의 위치)의 좌표값으로부터 필요한 네 개의 파라미터 값을 계산하기 위하여 그림 1(a)의 실제 모델을 단순화시킨 것이다. 여기서 X, Y, Z좌표축 중 역운동학 함수를 이용하여 계산해야 할 관절각 축은 실선으로 표시하였으며 그 외의 것은 점선으로 표시하였다. 그림 1(b)로부터 계산해야 할 관절각을 다음과 같이  $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \gamma$  로 정의한다.

- $\gamma$  = shoulder X축 회전각 ( $\omega_2 : -70^\circ \sim +80^\circ$ )
- $\theta_1$  = shoulder Z축 회전각 ( $\omega_3 : -40^\circ \sim +180^\circ$ )
- $\theta_2$  = shoulder Y축 회전각 ( $\omega_1 : -40^\circ \sim +170^\circ$ )
- $\theta_3$  = elbow Y축 회전각 ( $\omega_4 : -10^\circ \sim +150^\circ$ )

여기서 Shoulder의 X축이 팔의 자세를 결정하는 자유도에도 불구하고 점선으로 표현된 것은 Shoulder의 자유도가 한 정점에서 3개의 자유도를 가지고 있을 경우 해석할 수 없는 역운동학 변환식을 만들어 내기 때문이다. 따라서 본 논문에서는 해결이 가능한 변환식을 얻기 위하여 상대적으로 손의 위치결정에 영향이 적은 Shoulder X축 회전각  $\gamma$  값을 고정하고  $\theta_1, \theta_2, \theta_3$  에만 역운동학을 적용하여 계산한다.

## 3. 역운동학에 의한 관절각 계산

그림 1(b)에 적용되는 변환 연산은 Shoulder Z축과 Y축에 대한 회전변환  $Rot(Z, \theta_1)$ 과  $Rot(Y, \theta_2)$ , Elbow Y축에 대한 회전변환  $Rot(Y, \theta_3)$ , 그리고  $L_1, L_2$ 에 대한 이동 연산  $Tran(X, L_1)$ 과  $Tran(X, L_2)$ 로 모두 5개이다. Wrist의 좌표가 주어졌을 때 이에 해당하는 각 관절의 파라미터 값을 구하기 위해서는 이들 연산자를 차례로 적용하여야 한다. 5종류의 연산을 각각

$$Rot(Z, \theta_1) = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & H \end{pmatrix}, \quad Rot(Y, \theta_2) = \begin{pmatrix} 2 \\ 1 & H \end{pmatrix}$$

$$Tran(X, L_1) = \begin{pmatrix} 3 \\ 2 & H \end{pmatrix}, \quad Rot(Y, \theta_3) = \begin{pmatrix} 4 \\ 3 & H \end{pmatrix}$$

$$Tran(X, L_2) = \begin{pmatrix} 5 \\ 4 & H \end{pmatrix}$$

라 하면 Wrist의 절대좌표(기준좌표)를 상대좌표로 변환시키는 역운동학 변환식은 식(1)과 같다.

$$\begin{pmatrix} 5 \\ 0 \end{pmatrix} H = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} H \cdot \begin{pmatrix} 2 \\ 1 \end{pmatrix} H \cdot \begin{pmatrix} 3 \\ 2 \end{pmatrix} H \cdot \begin{pmatrix} 4 \\ 3 \end{pmatrix} H \cdot \begin{pmatrix} 5 \\ 4 \end{pmatrix} H \quad \text{식(1)}$$

여기서 식(1)은 먼저 Shoulder Z축에 회전변환 연산  $Rot(Z, \theta_1)$ 을 적용하면 기준 좌표계 (X, Y, Z)는 ()

좌표계  $(X_1, Y_1, Z_1)$ 로 변하고 다시  $Rot(Y, \theta_2)$ 을 적용하면  $(X_2, Y_2, Z_2)$  좌표계가 되고, 계속하여  $Tran(X, L_1)$ ,  $Rot(Y, \theta_3)$ ,  $Tran(X, L_2)$ 을 적용하면 좌표계는 최종적으로 상대좌표  $(X_5, Y_5, Z_5)$ 로 변환됨을 나타낸다. 따라서  $(X_5, Y_5, Z_5)$  좌표계에서 손 위치를  $(0, 0, 0)$ 으로 할 때, 이를 기준 좌표계  $(X, Y, Z)$ 에서 주어진 손의 위치  $(B_x, B_y, B_z)$ 로 변환하는 식은

$${}^5_0 H \cdot \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} B_x \\ B_y \\ B_z \\ 1 \end{pmatrix} \quad \text{식(2)}$$

가 된다. 또한 그림 1(b)에 대한 기하학적인 해석으로부터

$$B_x^2 + B_y^2 + B_z^2 = L_1^2 + L_2^2 - 2L_1L_2 \cos(180^\circ - \theta_3) \quad \text{식(3)}$$

이 성립한다. 따라서 식(2)를 만족하는 연립방정식을 설정하여  $\theta_1, \theta_2$  구하면

$$\theta_1 = \tan^{-1} \left( \frac{B_y}{B_x} \right) \quad \text{식(4)}$$

$$\theta_2 = \tan^{-1} \left( \frac{S_2}{C_2} \right) \quad \text{식(5)}$$

가 된다. 식(5)에서  $S_2, C_2$ 는 연립방정식으로부터 구한  $\sin \theta_2, \cos \theta_2$ 의 값이다. 끝으로  $\theta_3$ 를 얻기 위하여 식(3)을 정리하면

$$\theta_3 = 180^\circ - \cos^{-1} \left( \frac{B_x^2 + B_y^2 + B_z^2 - L_1^2 - L_2^2}{-2L_1L_2} \right) \quad \text{식(6)}$$

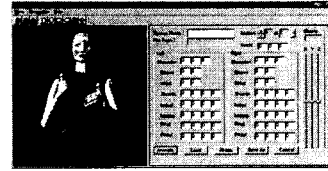
이 된다. 따라서 손의 위치의 기준 좌표  $(B_x, B_y, B_z)$ 가 주어지면 위의 식(4), 식(5), 식(6)을 이용하여  $\theta_1, \theta_2, \theta_3$ 를 계산할 수 있게 된다.

그런데 위의 계산 과정에서는 Shoulder X축을 고정시키고( $\gamma$ 를 고정시키고) Shoulder Z축과 Y축, Elbow Y축 회전에 관한 파라미터 값( $\theta_1, \theta_2, \theta_3$ )만을 계산한 것이다. 그러나  $\gamma$ 값을 고정하고서는 자연스러운 팔의 자세를 결정할 수 없다. 따라서 손의 위치  $(B_x, B_y, B_z)$ 에 따라 자연스러운 팔의 자세(Shoulder X축 회전)를 얻을 수 있는 관계식과 data를 준비하여 두는 방법으로 관절각 계산 과정을 자동화하였다. 그러나 Shoulder X축의 회전을 자동화시키는 데에는 한계가

있다. 따라서  $\gamma$ 값을 사용자가 원하는 크기로 증감시킬 수 있도록 하였다. 이때 Shoulder X축 회전 량의 결정은 마우스의 드래그(오른쪽 클릭, 좌우방향)로 증감시킨다.

#### 4. 에디터를 이용한 키 프레임 제작 및 애니메이션 생성

기존의 연구에서 키 프레임 제작을 위하여 사용하였던 에디터와 역운동학을 이용한 에디터에 대한 윈도우 영상은 그림 3과 같다. 본 논문에서 제안한 에디터에는 기존의 에디터와는 달리 키 프레임을 정면에서 관찰할 수 있는 창과 측면에서 관찰할 수 있는 창이 있다. 또한 툴바에 도글스위치 3개를 추가하여 기존의 방식과 역운동학 방식을 선택할 수 있도록 하였다.



(a)



(b)

그림 3 에디터 윈도우 영상. (a) 기존 에디터의 윈도우, (b) 역운동학을 이용한 에디터의 윈도우.

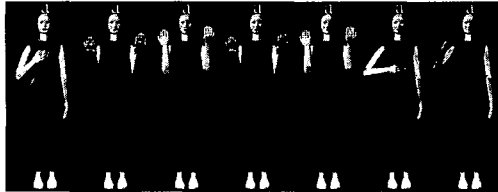
Fig. 3 Window images of editors. (a) The existing editor window, (b) The proposed editor window.

그림 3(a)의 기존의 에디터에서는 오른쪽의 텍스트 패널에 관절각 수치를 임의로 대입하여 왼쪽 창에 생성되는 제스처를 확인하고 원하는 제스처가 아닐 경우에는 다시 오른쪽 패널의 관절각 수치를 수정하는 과정을 반복하여 적절한 키 프레임에 대한 관절각을 얻었다. 그러나 역운동학을 이용하는 그림 (b)의 에디터에서는 이전의 방법을 사용할 수도 있지만 직접 캐릭터의 손을 클릭 하여 드래그 함으로써 손의 위치를 원하는 장소에 위치시켜 줄 수 있으며, 이때 손의 위치에 해당하는 관절각 파라미터 값들이 자동으로 계산되어 오른쪽 패널에 나타나게 된다.

그림 3(b)는 창이 하나 있는 윈도우와 달리 같은 모델을 두 가지 방향에서 볼 수 있도록 하므로써 2D에서는 관찰할 수 없었던 3차원 공간의 표현을 좀더 정

확하게 관측할 수 있도록 하였다.

끝으로 그림 4는 한글 수화 "NaNeum HakKyoEa KamNiDa(I go to school)"에 대한 수화 애니메이션을 생성하기 위하여 키 프레임 에디터로 생성한 정면과 측면의 키 프레임 영상이다. 그리고 이 키 프레임들에 대한 관절각 파라미터 값들은 표 1과 같다.



(a)



(b)

그림 4 "나는 학교에 갑니다"에 대한 수화 애니메이션 생성 예. (a) 정면 영상, (b) 측면 영상.

Fig. 4 Example of sign-language animation for "NaNeum HakKyoEa KamNiDa(I go to school)". (a) front view, (b) side view.

표 1 수화 "나는 학교에 갑니다"에 대한 키 프레임별 팔의 관절각

Table 1 Joint angles of keyframes for sign-language "NaNeum HakKyoEa KamNiDa(I go to school)".

Word	Frame	Left-arm				Right-arm			
		$\theta_1$	$\gamma$	$\theta_2$	$\theta_3$	$\theta_1$	$\gamma$	$\theta_2$	$\theta_3$
"NaNeum"	(a)	0°	0°	0°	0°	-20°	60°	-10°	150°
	(b)	0°	0°	20°	120°	0°	0°	20°	120°
"HakKyoEa"	(c)	0°	0°	30°	160°	0°	0°	30°	160°
	(d)	0°	0°	20°	120°	0°	0°	20°	120°
	(e)	0°	0°	30°	160°	0°	0°	30°	160°
"KamNiDa"	(f)	0°	0°	0°	0°	-30°	60°	10°	120°
	(g)	0°	0°	0°	0°	10°	10°	-30°	120°

## 5. 결론

본 논문에서는 3차원 수화 애니메이션 에디터의 효율성을 높이기 위하여 키 프레임의 팔 관절각을 자동으로 계산할 수 있는 에디터를 제작하였다. 실험결과 정운동학을 이용한 에디팅 방법보다 효율적으로 키 프레임을 생성하여 수화 애니메이션 영상을 얻을 수 있었다. 그러나 현재 구현된 에디터에서는 팔의 자세와 손의 위치에 대한 파라미터만을 계산하였다. 따라서 손의 모양을 결정하기 위하여 다양한 형태의 손 모양을 미리 작성하여 놓고 원하는 모양과 유사한 것을 호출하여 보정하는 방법을 이용하였으며, 이의 자동화는 앞으로의 연구 과제이다.

## Acknowledgments

This work was partially supported by TAO (Telecommunications Advancement Organization of Japan) for "International Collaborative Research on Communication Technique between Different Languages Using Sign Language and Live CG Techniques". The work was also supported by Korea Research Foundation (grants number : 1998-001-E00979). The authors wish to acknowledge their financial supports made in the program year of 1998.

## 참고 문헌

- [1] <http://www.funhousefilms.com/521stuf/history2.html>
- [2] J. -Y. Oh, S. -W. Kim, S. Tanahashi, Y. Aoki, "A sign language chatting system for non-verbal communication between different languages", Proc. of ITC-CSCC'98, Sokcho, Korea, pp. 693 - 696, July 1998.
- [3] 吳 芝英, 金 商雲, 青木由直, "3차원 모델을 이용한 한-일 수화 영상통신 시스템의 구현", 大韓電子工學會夏季綜合學術大會 論文集, vol. 21, no. 1, pp. 925-928, 1998. 6.
- [4] K. S. Fu, R. C. Gonzalez, C. S. G. Lee, Robotics: Control, Sensing, Vision, and Intelligence, McGraw-Hill, 1987
- [5] 李 鍾雨, 吳 芝英, 金 商雲, 青木由直, "스플라인 보간법을 이용한 3차원 수화 애니메이션의 생성", 大韓電子工學會秋季綜合學術大會 論文集, vol. 21, no. 2, pp. 931-934, 1998. 11.