

3D 수화 애니메이션을 위한 팔과 손의 키 프레임 에디터

○李 鍾雨*, 金 商雲*, 青木 由直**

* 明知大 컴퓨터学部

** 北海道大大学院工学研究科

A Keyframe Editor of Arms and Hands for 3D Sign-Language Animation

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

* Div. of Computer Science & Engineering, Myongji University

** Graduate School of Engineering, Hokkaido University

jongwoo@wh.myongji.ac.kr

Abstract

We design a keyframe editor of arms and hands for 3D sign-language animation using inverse kinematics. In the previous study, we acquired only the joint angles of two arms after selecting arbitrarily the shapes of hands. In this paper, both joint angles of arms and hands are calculated by the same transformation matrix of the inverse kinematics. In the method, the design window of arm gestures can be converted into that of hand shapes by clicking a button. Experimental results show a possibility that the proposed method could be used for building 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 가상공간에서 자신을 상징화시킨 아바타(Avatar)들 간의 대화 시스템으로 발전시킬 수 있다. 이러한 점에 주목하여 인터넷상에 수화통신 시스템의 가능성이 검토되어 왔다[1].

실시간 통신을 위한 지적 수화통신 시스템은 클라이언트/서버 시스템으로서, 클라이언트에서 요청된 단어의 제스처를 서버로부터 키프레임별 관절각 파라미터로 전달받아 수화 애니메이션을 생성하는 시스템이다 [2]. 따라서 효율적인 수화 통신을 위해서는 수화 애니

메이션을 생성할 수 있는 정확한 관절각 파라미터를 손쉽게 도출할 수 있어야 한다. 그러나 문헌[3]에서는 애니메이터의 숙련도에 의지 할 수밖에 없었던 단점을 보완하기 위해서 역운동학(Inverse Kinematics)[4]를 팔의 자세와 손의 위치를 결정하는 파라미터의 생성에만 적용하고 그 외의 손의 모양(손가락들의 모양)은 기본 표준 모델을 불러와 변화를 시켜주는 방법을 사용하였다.

본 논문에서는 제스처 뿐만 아니라 손 모양의 생성까지 역운동학을 확대 적용하여 전체 인터페이스를 통합하였다. 또한 크기가 작아 작업이 어려웠던 손 모양을 효율적으로 제작할 수 있도록 윈도우를 바꿀 수 있는 기능을 추가하여, 애니메이터의 의존도를 낮추고 키 프레임의 생성 시간을 줄일 수 있도록 하였다.

이하 제 2장에서는 3D 수화 애니메이션의 생성을 위한 관절각 파라미터 구조를 고찰하고, 제 3장에서는 역운동학을 이용하여 수화 관절각 파라미터 값을 계산하는 방법에 대하여 기술한다. 제 4장에서는 수화 애니메이션 생성하는 키 프레임 에디터에 대하여 고찰한다. 제 5장에서는 실험 및 결과를 고찰 후, 제 6장에서 결론을 맺는다.

2. 3D 수화 애니메이션을 위한 관절각 파라미터의 구조

2.1 팔 모양 관절각 파라미터

수화는 손의 모양, 방향, 움직임, 위치로 의미를 전달한다. 이 중에서 손의 위치는 어깨의 각도와 회전, 팔꿈치의 각도에 따라 결정되며, 이에 대한 관절각 파라미터 구조는 그림 1과 같다.

그림 1(a)에서 $\omega_1 \sim \omega_4$ 는 팔의 자세와 손의 위치를 결정하는 요소이고, $\omega_5 \sim \omega_7$ 은 손의 방향을 결정하는

이 논문은 韓國學術振興財團의 연구비지원(과제번호: 1998-001-E00979)으로 이루어진 것으로, 일본의 通信.放送機構(TAO)로부터도 실험기기 일부의 지원이 있었습니다.

요소이다. 따라서 팔의 제스처를 얻기 위해서는 $\omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4$ 에 해당하는 관절각을 결정해야 한다.

그림 1(b)는 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. 여기서 계산해야 할 관절각을 $\theta_1(\omega_3: -40^\circ \sim +180^\circ), \theta_2(\omega_1: -40^\circ \sim +170^\circ), \theta_3(\omega_4: -10^\circ \sim +150^\circ), \gamma(\omega_2: -70^\circ \sim +80^\circ)$ 로 정의한다.

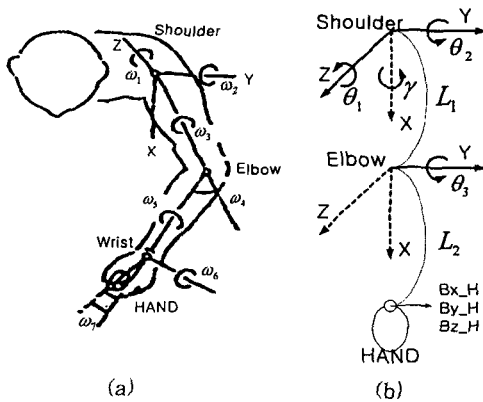


그림 1(a) 팔(어깨 팔꿈치 손목) 관절각의 자유도 구조, (b) 팔 관절각 계산을 위한 좌표계.

2.2 손 모양 관절각 파라미터

손 모양을 결정하기 위한 손가락의 자유도에 대한 3D 파라미터 구조는 그림 2와 같다.

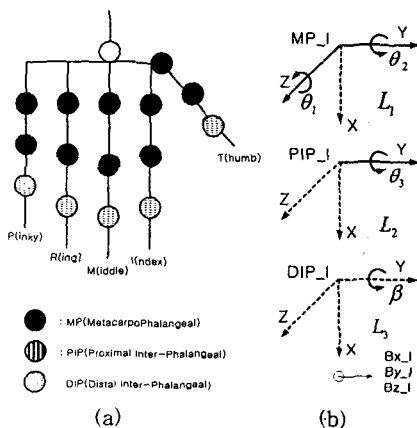


그림 2. (a) 손의 관절 모델 (b) 한 손가락(Index finger)의 자유도와 좌표계.

그림 2(b)에서 θ_1, θ_2 는 MP 관절을 중심으로 (X, Y, Z) 좌표계를 설정했을 때의 각 축을 중심으로 회전하는 각이고, θ_3 는 PIP 관절의 각도, β 은 DIP 관절

의 각도이다. 그림 2(b)는 역운동학을 이용하여 끝점의 좌표값으로부터 필요한 네 개의 파라미터 값을 계산하기 위하여 검지손가락(Index finger)을 표본으로 실제 모델을 단순화시킨 것으로, 계산해야 할 관절각을 $\theta_1(-30^\circ \sim +30^\circ), \theta_2(-15^\circ \sim +90^\circ), \theta_3(-15^\circ \sim +90^\circ), \beta(-15^\circ \sim +90^\circ)$ 로 정의한다.

한편, 엄지를 제외한 네 손가락의 DIP는 특별한 경우를 제외하고 스스로 움직이지 못하고 상위 관절인 PIP의 움직임에 영향을 받는다. 따라서

$$\beta = \frac{2}{3} \theta_3 \quad \text{식(1)}$$

로 하여 각 손가락의 PIP관절의 움직임이 발생하면 그 움직임의 2/3만큼 DIP관절이 움직이도록 할 수 있다[5]. 또한, 식(1)과 손가락 좌표계의 L_2, L_3 의 기하학적 관계로부터

$$L_2' = \sqrt{L_2^2 + L_3^2 - 2L_2L_3 \cos(180^\circ - \beta)} \quad \text{식(2)}$$

을 얻을 수 있다. 이를 이용하면, PIP에서 손가락 끝까지의 거리인 L_2' 을 얻을 수 있으며, 이를 L_2 대신에 사용하면 그림 1(b)와 그림 2(b)의 관절각 파라미터 계산에 동일한 역운동학 계산식을 적용할 수 있게 되어 좌표계에 관한 역운동학 연산식을 표준화할 수 있다.

3. 역운동학에 의한 관절각 계산

그림 1(b)과 그림 2(b)에 적용할 수 있는 변환 연산은 어깨(그림 2(b)에서는 MP)의 Z축과 Y축에 대한 회전변환 $Rot(Z, \theta_1)$ 과 $Rot(Y, \theta_2)$, 팔꿈치(그림 2(b)에서는 PIP)의 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.

각 변환 연산을 ${}^0_0H, {}^1_1H, {}^2_2H, {}^3_3H, {}^4_4H$ 라 할 때, 끝점의 절대좌표(기준좌표)를 상대좌표로 변환시키는 역운동학 변환식은 식(3)과 같다.

$${}^5_0H = {}^1_0H \cdot {}^2_1H \cdot {}^3_2H \cdot {}^4_3H \cdot {}^5_4H \quad \text{식(3)}$$

상대좌표계에서 끝점의 위치를 (0, 0, 0)로 할 때, 이를 기준 좌표계에서 주어진 끝점의 위치 (B_x, B_y, B_z)로 변환하는 식은

$$\begin{matrix} 5 \\ 0 \end{matrix} H \cdot \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} B_x \\ B_y \\ B_z \\ 1 \end{pmatrix} \quad \text{식(4)}$$

가 된다.

또한 그림 1(b)과 그림 2(b)에 대한 기하학적인 해석으로부터

$$B_x^2 + B_y^2 + B_z^2 = L_1^2 + L_2^2 - 2L_1L_2\cos(180^\circ - \theta_3) \quad \text{식(5)}$$

이 성립한다. 따라서 식(4)을 만족하는 연립방정식을 설정하여 θ_1, θ_2 구하면

$$\theta_1 = \tan^{-1}\left(\frac{B_y}{B_x}\right) \quad \text{식(6)}$$

$$\theta_2 = \tan^{-1}\left(\frac{S_2}{C_2}\right) \quad \text{식(7)}$$

가 된다. 식(7)에서 S_2, C_2 는 연립방정식으로부터 구한 $\sin\theta_2, \cos\theta_2$ 의 값이다. 끝으로 θ_3 를 얻기 위하여 식(5)을 정리하면

$$\theta_3 = 180^\circ - \cos^{-1}\left(\frac{B_x^2 + B_y^2 + B_z^2 - L_1^2 - L_2^2}{-2L_1L_2}\right) \quad \text{식(8)}$$

이 된다. 따라서 끝점의 위치의 기준 좌표 (B_x, B_y, B_z)가 주어지면 위의 식(6), 식(7), 식(8)을 이용하여 필요한 관절각을 계산할 수 있게 된다.

그런데 팔에 관한 그림 1(b)의 경우 위의 어깨 X축을 고정시키고(γ 을 고정시키고) 어깨 Z축과 Y축, 팔꿈치 Y축 회전에 관한 파라미터 값만을 계산한 것이다. 그러나 γ 값을 고정하고서는 자연스러운 팔의 자세를 결정할 수 없다. 따라서 손의 위치(B_x, B_y, B_z)에 따라 자연스러운 팔의 자세(어깨 X축 회전)를 얻을 수 있는 관계식과 data를 준비하여 두는 방법으로 관절각 계산 과정을 자동화하였다. 그러나 어깨 X축의 회전을 자동화시키는 데에는 한계가 있다. 따라서 γ 값을 사용자가 원하는 크기로 증감시킬 수 있도록 하였다. 이때 어깨 X축 회전 량의 결정은 마우스의 드래그(오른쪽 클릭, 좌우방향)로 증감시킨다.

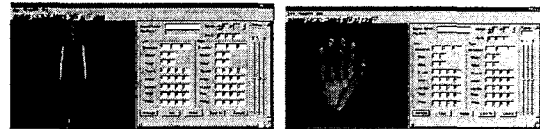
마지막으로 손의 방향은 손의 위치나 모양과는 관계가 없으므로 직접 마우스의 드래그를 이용하여 관절의 회전값을 결정한다.

4. 에디터를 이용한 키 프레임 제작

3D 수화 애니메이션을 생성하기 위한 키 프레임에

디터의 윈도우 영상은 그림 3과 같다. 여기서 좌측의 윈도우는 마우스를 이용하여 팔이나 손의 형상을 제작하는 윈도우이고, 우측은 좌측의 제스처를 생성하기 위해 필요한 관절각 파라미터의 값을 나타내는 패널이다. 그림 3(a)는 팔 모양 제스처를 만들기 위한 에디터 윈도우이고, (b)는 손 모양을 제작하기 위한 에디터이다. 본 논문에서는 기존의 에디터에 추가하여 오른손과 왼손을 자세히 볼 수 있도록 창모드를 바꿀 수 있는 기능을 추가하였다. 또한 툴바에 토글스위치를 추가하여 정운동학 방식과 역운동학 방식을 선택할 수 있도록 하였다.

기존의 에디터에서는 손의 제스처를 변경하기 위해서는 정운동학을 이용하여 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.



(a) (b)

그림 3. 키 프레임 에디터 윈도우. (a) 전체 에디트 화면모드의 윈도우, (b) 오른손 에디트 화면모드의 윈도우

본 논문의 에디터에서는 이전의 방법을 사용할 수도 있지만 직접 캐릭터의 원하는 부분을 클릭 하여 드래그 함으로써 손의 위치나 손가락의 모양을 원하는 장소에 위치시켜 주거나 모양을 만들어 줄 수 있도록 일관성 있는 인터페이스를 개선하였으며, 이때 관절각 파라미터 값들이 자동으로 계산되어 오른쪽 패널의 해당 박스에 나타나게 된다.

그림 3의 (b)와 (a)는 손이 전체 모델에 비하여 상대적으로 작아 에디트 작업의 어려움을 창모드를 변화시켜 줌으로서 해소하였다.

5. 수화 키 프레임 작성 실험

5.1 실험환경

기존의 에디터와 이 논문에서 제안한 역운동학을 적용한 에디터의 사용 편의성을 초보자를 대상으로 그림 4의 제스처 프레임 생성시간을 조사하였다.

실험은 컴퓨터공학과 1학년 학생 중에서 키 프레임 에디터를 처음 접하는 학생 10명을 대상으로 약 10분의 적용시간을 가진 후 그림 4와 같이 5개의 수화 단어를 구성하는 총 10개의 키 프레임을 제작하도록 한 다음 키 프레임 작성 시간을 표 1과 표 2 같이 조사하

었다.

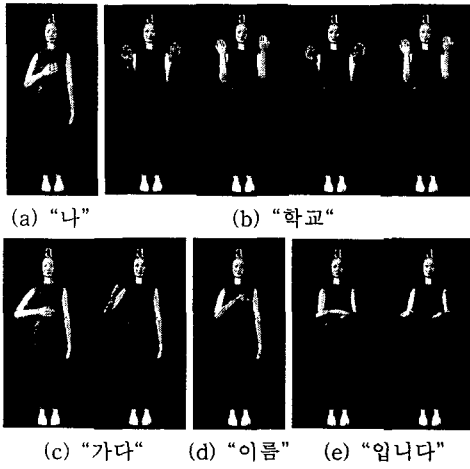


그림 4. 실험 데이터의 키 프레임 샘플

표 1. 정운동학 실험 결과 기록표(단위 : 초)

실험자 키프레임	P1	P2	P3	P4	P5	합	평균
(a)	61	94	170	270	94	689	137.8
(b)	142	118	130	141	117	648	32.4
(c)	90	70	663	134	210	1,167	116.7
(d)	300	434	374	256	363	1,727	345.4
(e)	75	97	150	228	270	820	82
합	668	813	1,487	1,029	1,054	5,051	
평균	66.8	81.3	148.7	102.9	105.4		101.02

표 2. 역운동학 실험 결과 기록표(단위 : 초)

실험자 키프레임	P1	P2	P3	P4	P5	합	평균
(a)	39	150	42	42	94	367	73.4
(b)	168	810	460	320	198	1,956	97.8
(c)	85	92	72	115	136	500	50
(d)	451	251	187	286	345	1,520	304
(e)	113	123	216	98	128	678	67.8
합	856	1,426	977	861	901	5,021	
평균	85.6	142.6	97.7	86.1	90.1		100.42

5.2 결과 고찰

전체적인 생성 평균시간은 비슷하였으나, "학교"를 제외한 "나", "가다", "이름", "입니다"의 제스처는 정운동학에 비해 역운동을 사용한 에디터가 생성시간을 절약 할 수 있었다.

그러나 단순동작이 반복되는 "학교" 제스처의 경우 역운동학을 이용하는 경우보다 정운동학을 이용하는 경우가 약3배정도 빠른 생성 시간의 나타내었다.

이 결과를 분석해 보면 수화의 동작이 단순반복동작의 성격을 가질수록 정운동학을 이용한 생성이 효율적이며 제스처가 복잡하거나 키 프레임간의 유사함이 적을수록 역운동학을 적용한 방식이 효율적이며 실험한 단어 중 최대 약 절반의 시간을 줄일 수 있었다.

실험 대상자의 수화인지도, PC조작능력, 등이 고려되지 않아 다소 생성시간이 증가하였으며, 역운동학을 이용한 방법에서 구속조건(Constraints)이 적절히 적용되지 않아 사용편의성과 효율성에 약간의 악영향을 주었으며, 실험 대상자의 에디터 적용 시간이 짧아 실험 결과가 다소 부정확하였다.

6. 결론

본 논문에서는 3차원 수화 애니메이션 에디터의 효율성을 높이기 위하여 팔과 손의 관절각을 자동으로 계산할 수 있는 키 프레임 에디터를 제작하였다. 실험 결과 복잡한 제스처의 생성에서 정운동학을 이용한 에디팅 방법보다 효율적으로 키 프레임을 생성할 수 있었다. 각각의 방식에 장점이 있었으며 제스처의 성격에 따라 생성 방식을 적절히 선택한다면, 제스처 생성을 보다 쉽고 빠르게 효율적으로 생성할 수 있을 것이다.

현재 구현된 에디터에서는 각 관절이 움직일 수 있는 범위의 한계(구속조건)를 극히 일부만을 적용하였다. 앞으로의 과제는 각 관절의 운동 범위를 고려한 인체모델의 정적구속조건(static constraints)과 관절간의 상호 간섭 등을 고려한 동적구속조건(dynamic constraints)을 적절히 이용하여 인간의 움직임과 유사한 제스처를 생성 할 수 있는 에디터를 구현하려 한다.

참고 문헌

- [1] 金 商雲, 吳 芝英, 青木由直, "인터넷상에 3차원 모델을 이용한 한-일 실시간 수화 통신 시스템의 구축을 위한 기초적인 검토", 대한전자공학회는논문지-S, vol. 36, no. 7, pp. 811 - 820, 1999. 07
- [2] 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.
- [3] 李 鍾雨, 金 商雲, 青木由直, "역운동학을 이용한 3차원 수화 애니메이션의 키 프레임 에디터", 大韓電子工學會夏季綜合學術大會 論文集, vol. 22, no. 1, pp. 655-658, 1999. 6.
- [4] K .S. Fu, R. C. Gonzalez, and C .S. G. Lee, Robotics: Control, Sensing, Vision, and Intelligence, McGraw-Hill, pp. 12 - 81, 1987
- [5] H. Rijkeman and M. Girard, "Computer animation of knowledge-based human grasping," Computer Graphics, vol. 25, no. 4, July 1991.