

論文2001-38CI-1-2

등각 사상을 이용한 인체 아바타의 장애물 회피 경로 생성에 관한 연구

(A Study on Obstacle-Free Path Generation of Avatar
using Conformal Mapping)

金鍾成*, 都俊亨**, 朴洸賢**, 金亭培**, 宋慶俊*, 卞增男**
(Jong-Sung Kim, Jun-Hyeong Do, Kwang-Hyun Park, Jung-Bae Kim,
Kyung-Joon Song, and Zeung-nam Bien)

요 약

본 논문에서는 가상 공간상에서 아바타가 이동할 때 자율적으로 장애물을 회피할 수 있는 새로운 방법으로 등각 사상 방법을 이용한다. 먼저, 원형으로 근사화되는 장애물을 대상으로 하여 회피 경로를 생성하는 방법을 보이고, 타원형이나 다수의 장애물에 대한 회피 경로 생성 방법으로 확장한다. 그리고 마지막으로 중간 경로점을 이용한 전역경로계획 방법과 등각 사상을 이용한 장애물 회피 경로 생성 방법을 통합 시켜 전체 환경에서 자연스러운 아바타의 이동 경로를 생성하는 방법을 제안한다.

Abstract

In this paper, we present a new method to generate obstacle-free path by using conformal mapping, when avatar navigates in virtual environment. First, we show that the proposed method generates a path to keep away from a circular obstacle. Then, we show that the method can be extended to an elliptical obstacle and multiple obstacles. For real applications, we combine the proposed local method with a global navigation method using sub-target to generate a global obstacle-free path by which avatar navigates naturally in virtual environment.

I. 서 론

컴퓨터로 생성한 영상은 지난 20여 년 간 영화, 광고, TV 등에서 널리 사용되어 왔다. 또한, 과학, 의학, 건축 분야에서도 실제 존재하지 않거나, 존재하더라도 눈에 보이지 않는 것을 가시화하기 위해서 컴퓨터 영상을 활용하였다. 최근 유행하고 있는 가상 현실의 개념이 이미 이때부터 시작되었다고 볼 수 있으나, 가상

공간 내에서 생물체를 전혀 표현할 수 없거나 극히 단순한 생물체만을 표현할 수 있는 등의 많은 제한적인 요소를 내포하고 있었다. 또한, 사용자는 가상 공간 안으로 들어가서 경험할 수 있는 방법이 2차원 스크린과 2차원 입력 장치를 통한 극히 제한적인 상호작용만이 가능할 뿐이었다^[1].

최근에 3차원 장비 등과 같은 새로운 입력 장치의 발달에 따라 가상 세계와 직접적이고 사실적인 상호작용이 가능해지면서 극도의 몰입감을 느낄 수 있게 되었고, 가상 세계에서 사용자를 대신하는 아바타/avatar의 연구가 활발히 진행되었다^[2]. 초기에는 글자, 아이콘, 만화와 같은 2D 형태의 아바타를 사용하였으나 최근의 주된 아바타는 사용자가 거부감을 갖지 않고 가장 친근하게 받아들일 수 있는 인체 형태의 3D 아바타가 대부분이다^[3,4]. 이는 사용자가 거부감을 갖지

* 正會員, ETRI 가상현실 연구센터 3차원 협동공간연구팀
(3D Collaborative Space Team, VR Center, ETRI)

** 正會員, 韓國科學技術院 電子電算學科

(Department of Electrical Engineering, KAIST)

接受日字:2000年3月13日, 수정완료일:2000年12月18日

않고 가장 친근하게 받아들일 수 있는 형태가 자기 자신의 모습과 가장 유사한 인체 형태라는 것을 생각하면 쉽게 이해할 수 있다. 또한 인체 아바타는 우리가 일상 생활에서 접할 수 있는 움직임이 인체 아바타에 의해 표현될 때, 사용자의 의도가 쉽게 표현되는 등의 유리한 점이 많다. 하지만, 인체 아바타는 사용자 자신의 모습을 닮았기 때문에 매우 사실적으로 표현하지 않으면 현실감을 느끼기 어려우며 몰입감이 없어지게 된다. 이러한 인체 아바타를 사실적으로 표현하기 위해서는 아바타의 모델링과 동작 제어, 경로 생성 등이 필요하다. 여기서 아바타의 모델링이란 몸체, 얼굴, 팔과 다리, 옷 등을 상세하게 구현하는 것이고 아바타의 동작 제어란 사용자가 원하는 대로 아바타가 동작하도록 제어하는 것을 의미한다. 그리고 아바타의 경로 생성이란 아바타가 현재 위치하고 있는 곳에서 원하는 목적지로 이동하기 위해서 거쳐야 할 경로를 만들어 주는 것이다. 인체 아바타의 자연스럽게 자율적인 동작을 위해서는 걷기, 달리기 등의 동작 요소들을 현실감 있게 표현하는 것뿐만 아니라, 가상 공간 내의 장애물을 자율적으로 회피하면서 경로를 생성하여 움직임을 나타내는 것이 필요하다. 본 논문에서는 인체 아바타를 자율적인 움직임을 통해 원하는 위치로 이동시키기 위해 가상 공간에 놓여진 장애물들을 회피하는 경로 생성 방법에 대해 다루고자 한다.

경로 생성 결정 문제는 지도의 표현 형식에 따라 결정되는데, 지도 표현 형식으로는 자유 공간 지도(free space map)와 개체 중심 지도(object-oriented map), 합성 공간 지도(composite space map)의 세 가지 지도 표현 형식이 있다^[6]. 그 중 개체 중심 지도는 장애물의 위치, 모양 등의 특성을 저장하여 환경을 나타내는 방식으로, 본 논문에서는 개체 중심 지도를 사용하여 가상 공간의 지도를 표현하고, 이에 따른 경로 생성 방법을 제시함으로써 아바타의 자율이동이 가능하도록 하고자 한다.

한편, 개체중심 지도에서 경로를 생성하는 방법으로는 항법함수를 이용하는 방법^[6], 가시성 그래프(visibility graph)를 이용한 다각형 지도 경로계획법^[7], 접선 그래프(tangent graph)를 구하는 방법^[8] 등이 있는데, 항법함수를 이용한 장애물 회피 경로 생성 방법으로는 가상 중력장을 이용한 방법^[6]이 대표적이다. 이 방법은 이동 환경 내에 도착점을 최소점으로 하고 작업환경의 경계를 최대값으로 하는 가상의 중력장을 만

든다. 그 다음, 아바타가 질량을 가진 점이라고 가정하고, 아바타는 시간에 따라 에너지를 소모한다고 가정하여, 임의의 위치에서 출발해도 아바타가 도착점에 수렴하게 하는 방법이다. 이때 도착점 외에는 부분 최소값을 가져서는 안 된다. 하지만 이 방법은 최소점 제거가 어려워 아바타의 의도와는 달리 부분 최소점으로 이동할 가능성이 있으며, 아바타의 움직임이 전적으로 중력장 함수에 의해 결정되기 때문에 움직임 특성을 변화시키기가 어렵다는 단점이 있다. 또 다른 경로 계획법으로 다각형 지도 경로계획법^[7,8]은 장애물이 다각형으로 표현이 되어야 하기 때문에 원형의 장애물에 대해서는 적용하기가 어렵다. 또한 다각형 지도 경로계획법에 의해 생성된 경로는 중간 중간에 경로의 접선방향 각도가 불연속한 지점이 생기기 때문에 아바타의 움직임이 자연스럽게 못하게 된다.

이와 같은 기존의 방법들이 가지는 문제점을 해결하기 위해서 제한된 조건에서 여러 가지 대안들이 제시되어 왔다^[9,10]. 본 논문에서는 기존의 문제점을 해결하기 위한 새로운 방법으로 등각 사상(conformal mapping)의 성질을 이용하여 원형 장애물뿐만 아니라 타원형 장애물에 대한 회피 경로를 생성시킬 수 있는, 새로운 장애물 회피 경로 생성 방법을 이용한다. 이 방법에서 타원형 장애물을 회피하는 경로를 생성하는 경우, 일반 다각형의 장애물을 타원형으로 근사시킬 수 있으므로 아주 유용한 방법이라 할 수 있다. 더구나 아바타의 움직임과는 독립적으로 경로만을 생성시켜줄 뿐만 아니라 가상 중력장을 이용한 방법에서 나타나는 부분 최소점 발생 문제가 없기 때문에 아바타를 원하는 경로를 따라 정확하게 이동시킬 수가 있으며 아바타의 움직임 특성의 변화도 용이하다. 그리고 생성된 모든 경로가 곡선으로 생성되므로 아바타가 자연스럽게 이동할 수 있다는 장점이 있다.

그러나 이 방법은, 장애물이 아닌 여러 가지 형태로 표현되는 전체 환경에서 경로를 생성한다는 것이 불가능하다. 따라서 전체 환경에서 거쳐가야 할 개략적인 경로를 찾아내는 데에 적합한 전역경로 계획은 별도로 결정한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 II장에서는 경로 생성 방법에 사용되는 등각 사상에 대해서 설명한다. 제 III장에서는 등각 사상을 이용하여 하나의 장애물 및 다수의 장애물에 대한 회피 경로 생성 방법을 제안하고, 경로 생성시 고려할 수 있는 경로의 유연성에 대

해서 언급한다. 제 IV장에서는 제안한 방법들을 종합하여 실제 인체 아바타의 이동 환경에서의 경로 생성 방법을 제안하고, 제 V장에서는 제안한 내용을 정리하고 추후 과제에 대해 서술한다.

II. 등각 사상(Conformal Mapping)

등각 사상이란 z -평면을 w -평면으로 사상시킬 때 두 곡선이 만나는 지점의 각도가 변하지 않게 사상시키는 것을 말한다.

한 예로 그림 1에서와 같이 z -평면의 임의의 두 곡선 C_1, C_2 가 z_0 에서 만나고 이를 w -평면으로 사상시켰을 때의 곡선을 각각 C_1', C_2' 라 할 때, 곡선 C_1, C_2 의 접선 벡터 z_1', z_2' 가 이루는 각도 θ 와 곡선 C_1', C_2' 의 접선 벡터 w_1', w_2' 가 이루는 각도 ϕ 가 같을 때의 사상이 등각 사상이 된다. 이때 두 곡선들이 이루는 각도 θ, ϕ 는 두 곡선의 접선 벡터의 향으로 나타낼 수가 있는데, 이를 식으로 표현해 보면, 코사인 제 2법칙에 의해

$$|z_1' - z_2'|^2 = |z_1'|^2 + |z_2'|^2 - 2|z_1'||z_2'| \cos \theta, \quad (1)$$

$$|w_1' - w_2'|^2 = |w_1'|^2 + |w_2'|^2 - 2|w_1'||w_2'| \cos \phi \quad (2)$$

가 되고, 따라서 식(1)과 식(2)는

$$\theta = \cos^{-1} \left(\frac{|z_1'|^2 + |z_2'|^2 - |z_1' - z_2'|^2}{2|z_1'||z_2'|} \right), \quad (3)$$

$$\phi = \cos^{-1} \left(\frac{|w_1'|^2 + |w_2'|^2 - |w_1' - w_2'|^2}{2|w_1'||w_2'|} \right) \quad (4)$$

가 된다.

등각 사상을 시키기 위해서는 앞에서 구한 θ 와 ϕ

가 같아야 하는데 $w=f(z(t))$ 의 관계에서 $f(z)$ 가 변역 D에서 해석적(analytic)이고 $f'(z) \neq 0$ 이어야 한다.

위에 언급한 조건을 만족시키는 사상은 모두 등각사상이라 할 수 있으므로 많은 종류의 등각 사상이 존재할 수 있는데 그 중에서 장애물을 회피하는 경로를 생성시키는데 이용할 수 있는 등각 사상은 다음과 같이 찾을 수 있다.

목표위치가 주어졌을 경우 가장 이상적인 주행 방법은 현재의 위치로부터 지정된 목표위치까지 곧바로 진행하는 것이다. 그러나, 이상적인 주행 경로에 장애물이 있을 경우에는 장애물을 피하여 우회하여 가야 한다. 즉, 출발점과 도착점을 잇는 직선 경로에 대해 등각사상을 시키면, 장애물을 피하여 우회하는 경로로 바뀌어야 하는 것이다. 이러한 유추로부터, 장애물을 회피하는 경로를 설정하기 위해 그림 2와 같은 등각 사상^[11]을 이용한다. 즉

$$w = \frac{z + \sqrt{-2^2 + z^2}}{2} \quad (5)$$

인 등각 사상을 이용한다.

그림 2의 등각 사상은 2차원 평면 공간을 중심이 (0,0)이고 반경이 1인 원 내부를 제외한 평면으로 사상시킨다. 이 같은 성질 때문에 원 내부를 장애물로 인하여 지나갈 수 없는 공간으로 간주 할 경우 출발점과 도착점을 잇는 직선 경로를 장애물을 피하여 우회하는 경로로 사상시킬 수가 있다. 이와 같은 등각 사상의 성질을 이용하면 이동 경로상의 장애물을 회피하는 자율 보행을 얻을 수 있으며 하나의 장애물뿐 아니라 다수의 장애물에 대해서도 같은 방법을 사용하여 장애물을 회피할 수 있다.

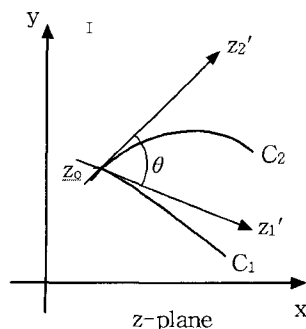


그림 1. 등각 사상
Fig. 1. Conformal Mapping.

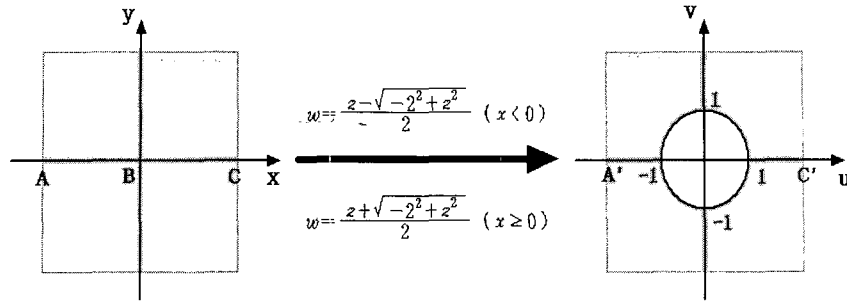


그림 2. 평면 공간을 원 내부를 제외한 평면으로 사상시키는 등각 사상
 Fig. 2. Conformal mapping of transferring from full plane to full plane without circle.

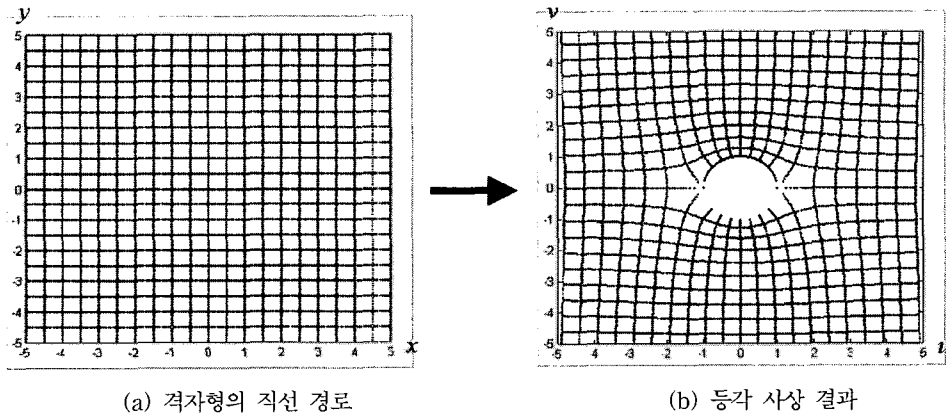


그림 3. 격자형의 등각 사상
 Fig. 3.. Conformal mapping of grid type-path.

III. 장애물 회피 경로

격자형의 직선 경로들(그림 3(a))에 대해서 등각 사상(식 (5))을 시키면 그림 3(b)의 결과를 얻게 된다. 그림 3(b)에서 보듯이 장애물이 (0,0)의 위치에 반경 1인 원의 크기를 차지하고 있다고 할 때, 그림 3(a)의 격자형의 직선 경로들 중 수평성분의 경로만이 등각 사상 후 장애물을 회피하는 경로의 특성을 가지게 된다.

따라서 이 같은 등각 사상의 특성을 이용하여 장애물 회피 생성 방법을 제시한다.

1. 단일 원형 장애물 회피 경로

(1) 중심이 (0,0)이고 반경이 1인 장애물의 회피 경로 현재의 출발점과 원하는 도착점이 주어질 때(그림 4(a)), 중심이 (0,0)이고 반경이 1인 원형 장애물을 회피하는 경로를 생성하는 방법은 다음과 같다. 그림 4에서 실선은 전체 경로를 등각사상을 시키거나 변환시켰다는 의미이고 점선은 출발점과 도착점 두 점만을 등

각사상 시키거나 변환시켰다는 의미이다.

1) 출발점(S)과 도착점(E)을 장애물을 중심으로 θ 만큼 회전시켜서 출발점(S')과 도착점(E')을 연결하는 직선 경로가 수평성분만을 가지도록 만들어 준다(그림 4(b)). 이때 θ 는 출발점과 도착점을 연결하는 직선의 기울기이다.

이 때, 회전 전후의 두 점 S, E와 S', E'의 관계식은 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} S'_x \\ S'_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} S_x \\ S_y \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$\begin{bmatrix} E'_x \\ E'_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_x \\ E_y \end{bmatrix} \quad (7)$$

2) 회전시킨 두 점 S'와 E'에 대해 역 등각 사상을 시킨다(그림 4(c)). 이는 두 점 S'와 E'를 연결하는 수평 성분의 직선 경로에 대해서 바로 등각 사상을 시킬 경우, 모든 경로에 대해서 좌표변환이 생기게 되는데 점 S'와 점 E' 역시 좌표 값이 바뀌게 된다. 그럴 경

우 출발점과 도착점의 좌표 변화로 인한 경로오차가 발생하기 때문이다. 점 S' , E' 와 S'' , E'' 사이의 역 등각 사상 관계식은 다음과 같다.

$$S' = S + \frac{1}{S} \quad (8)$$

$$E' = E + \frac{1}{E} \quad (9)$$

3) 역 등각 사상된 출발점(S'')과 도착점(E'')을 연결하는 직선 경로에 대해 등각 사상식 (5)을 시킨다 (그림 4(d)).

4) 3)에서 생성된 장애물 회피 경로에 대해 $-\theta$ 만큼 회전을 시키면 중심이 (0,0)이고 반경이 1인 장애물을 회피하는 경로가 만들어지게 된다(그림 4(e)). 이때 회전 관계식은 식 (6), 식 (7)을 이용한다.

(2) 중심이 (n, m)에 있는 장애물 회피 경로

장애물의 중심이 (n, m)에 있는 경우 장애물의 중심을 (0,0)으로 하는 직교 좌표계로 옮긴 후 앞 (1)절에서 제시한 방법으로 등각 사상을 시킨다. 그리고 장애물의 중심을 (0,0)에서 (n, m)으로 다시 옮기면, 중심이 (n, m)에 있는 장애물을 회피하는 경로를 생성할 수 있다.

(3) 반경이 r인 장애물 회피 경로

장애물의 크기가 달라질 경우 좌표계의 스케일을 조정함으로써 장애물을 회피하는 경로를 생성할 수 있다.

즉, 그림 4(b)의 상태에서 출발점(S')과 도착점(E')을 x, y 축에 대해 r배로 축소시킨 다음 두 점의 역 등각 사상을 취하고 역 등각 사상된 출발점과 도착점을 잇는 직선 경로에 대해 다시 등각 사상을 시킨다. 그러면 (출발점/r) 지점과 (도착점/r) 지점을 잇는 직선 경로에 대해 반경이 1인 장애물을 회피하는 경로가 생성된다. 그리고 나서 등각 사상된 경로를 u, v축에 대해 r배로 확대시키면 출발점과 도착점을 잇는 직선 경로에 대해 반경이 r인 장애물을 회피하는 경로가 생성된다.

2. 단일 타원형의 장애물 회피 경로

1) 절에서 제안한 장애물 회피 경로를 응용하여 원형이 아닌 타원형의 장애물을 회피하는 경로도 생성할 수 있다. 타원형의 장애물 회피 경로를 생성하는 경우 2가지 경우에 대하여 고려해 보아야 한다.

먼저 타원형의 장축 또는 단축이 출발점과 원하는 도착점을 잇는 직선 경로와 평행할 경우, 반경이 r인 원형 장애물 회피 경로 생성과 유사한 방법으로 타원형 장애물에 대한 회피 경로를 생성시킬 수 있다. 즉, 그림 4(b)의 상태에서 출발점과 도착점을 x, y축에 대해 모두 r배로 축소시키는 것이 아니라 x축에 대해서는 타원형의 x축 길이만큼, y축에 대해서는 타원형의 y축 길이만큼 축소를 시켜 역 등각 사상을 시킨 후 역 등각 사상된 출발점과 도착점을 잇는 직선 경로에

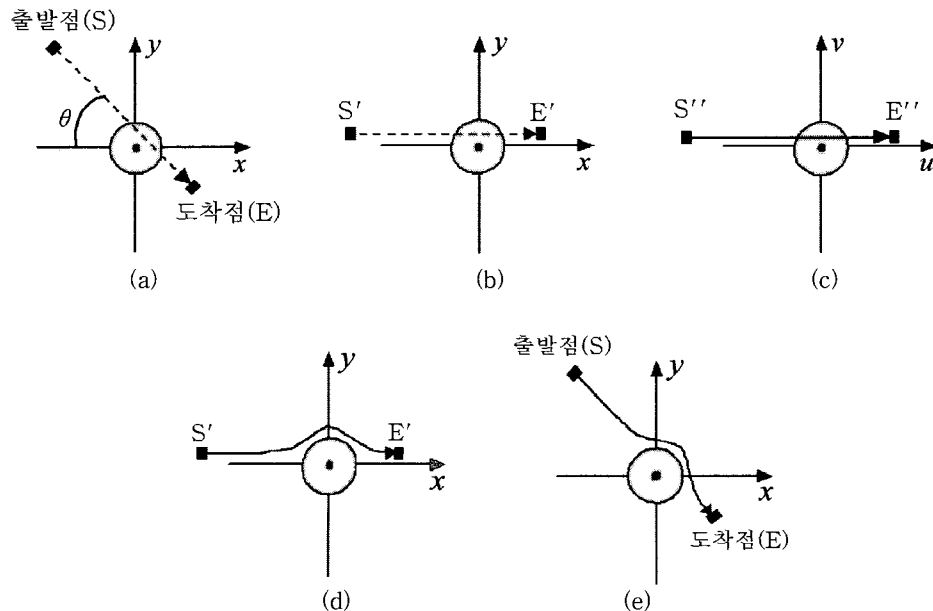


그림 4. 중심이 (0,0)이고 크기의 반경이 1인 장애물 회피 경로 생성 방법
Fig. 4. Circular obstacle(center:(0,0), radius:1)-free path generation method.

대해 다시 등각 사상을 시킨다. 그리고 등각 사상된 경로를 u, v 축에 대해 타원형의 각 축의 길이 배 만큼 다시 확대시키면 타원형 장애물에 대한 회피 경로가 생성된다.

다음으로 타원형의 장축 또는 단축이 출발점과 원하는 도착점을 잇는 직선 경로와 평행을 이루지 않을 경우 등각 사상을 하는 방법에 차이를 두어야 한다. 그림

5(a)의 경우 등각 사상을 시킬 때 고려하는 중심점(굵은 화살표가 가리키는 지점)으로 타원의 중심점을 사용하면 되지만 그림 5(b)의 경우는 타원의 중심점에 대해 등각 사상을 시킬 경우 원하는 경로가 생성되지 않는다. 따라서 이 경우에는 굵은 화살표가 가리키는 점으로 중심점을 옮긴 뒤 이 점을 중심으로 등각 사상을 시켜야 한다.

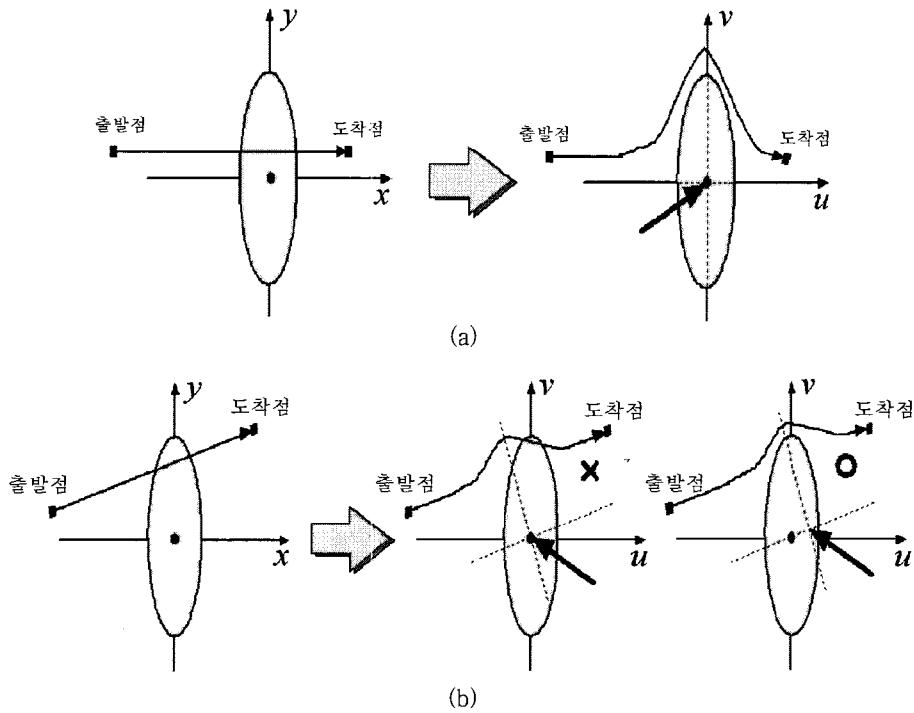


그림 5. 타원형 장애물을 회피하기 위한 경로
Fig. 5. Elliptical obstacle-free path.

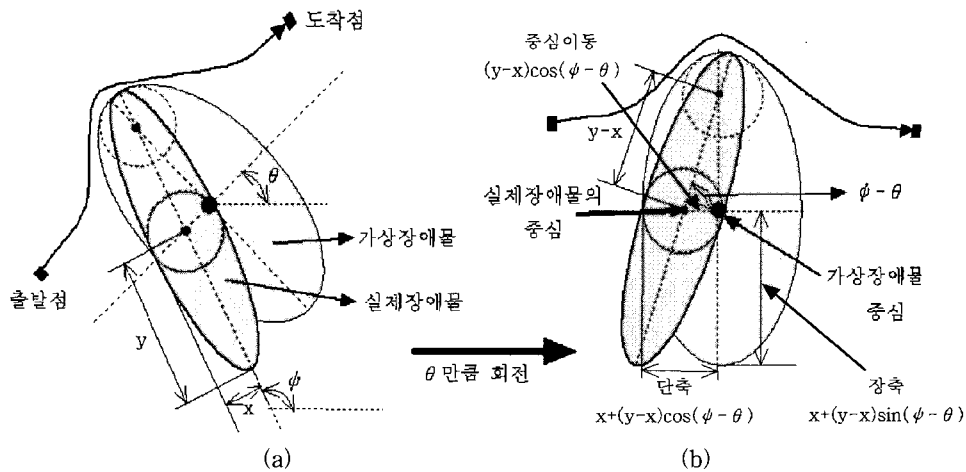


그림 6. 타원형 장애물과 가상 장애물
Fig. 6. Elliptical obstacle and imaginary obstacle.

즉, 그림 6(a)에서도 보듯이 타원형 장애물이 놓여진 각도(ψ)와 출발점과 도착점을 연결하는 직선 경로의 각도(θ)가 평행 또는 수직을 이루고 있지 않는 경우에는 장애물의 중심점을 등각 사상에서의 중심점으로 둘 수 없다. 따라서 다음과 같은 가상장애물을 만들고 가상장애물의 중심과 크기를 고려하여 등각 사상을 하고자 한다. 이때, 가상장애물의 크기는 다음과 같이 결정된다(그림 6(b)).

원장애물에서의 중심 이동: $(y-x)\cos(\psi-\theta)$ (10)

장축, 단축의 길이: $x+(y-x)\sin(\psi-\theta)$, (11)

$x+(y-x)\cos(\psi-\theta)$ (12)

따라서, 임의의 타원형 장애물에 대한 등각 사상 과정은 다음과 같다.

1) 출발점과 도착점을 연결하는 직선 경로를 실제 장애물을 중심으로 회전시켜서 수평성분만을 가지도록 만들어 준다. 이때 실제 장애물의 중심점이 좌표계의 원점이다.

2) 좌표축을 $(y-x)\cos(\psi-\theta)$ 만큼 옮겨 가상 가상장애물의 중심을 좌표계의 원점으로 둔다.

3) 출발점과 도착점을 x, y 축에 대해 $x+(y-x)\cos(\psi-\theta), x+(y-x)\sin(\psi-\theta)$ 배로 축소시킨 다음 두 점에 대해 역 등각 사상을 취한다.

4) 역 등각된 출발점과 도착점을 잇는 직선 경로에 대해 등각 사상을 시킨다.

5) 등각 사상된 경로를 u, v 축에 대해 $x+(y-x)\cos(\psi-\theta), x+(y-x)\sin(\psi-\theta)$ 배로 확대시킨다.

6) 다시 실제 장애물의 중심점을 기준으로 θ 만큼 역회전시키고 장애물의 중심점을 원래의 위치로 가져간다.

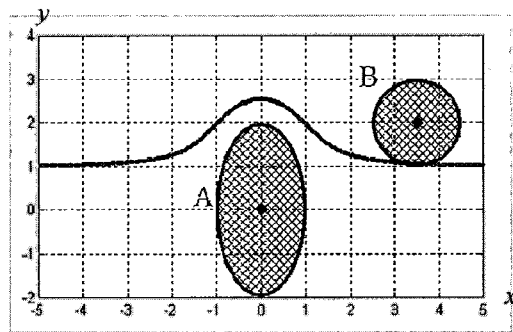
결국, 실제 장애물에 대해 등각 사상을 할 경우 원하는 경로 생성이 되지 않으므로 가상 장애물을 만들어 이에 대해 등각 사상을 하도록 하였다. 그림 6에서 보듯이 실제 장애물과 가상 장애물에 있어서 약간의 차이는 있으나 경로 생성에 있어서는 문제가 되지 않는다.

타원형의 축이 출발점과 도착점을 잇는 직선경로와 평행을 이룰 경우에 위 식을 적용하여 경로를 생성시켜 보면 $\psi=\theta$ 이므로 가상 장애물로의 중심이동은 0, 장축과 단축의 길이는 x, y 가 되어 올바르게 경로를 생성시켜 줌을 알 수 있다. 또한 원형 장애물의 경우에도 위 식을 적용하여 경로를 생성시켜 보면 $x=y$ 이므로 가상 장애물로의 중심이동은 0, 장축과 단축의 길이

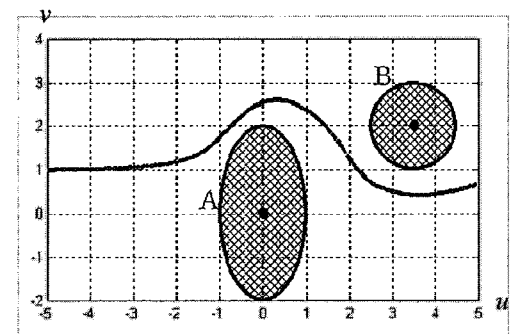
는 $x, x(=y)$ 가 되어 역시 올바른 경로를 생성시켜 줌을 알 수 있다. 따라서 타원형의 축이 출발점과 도착점을 잇는 직선경로와 평행을 이루지 않은 경우에 제안한 경로 생성 방법은 다른 형태의 원형, 타원형 장애물에 대해서도 적용 가능하기 때문에 가장 일반적인 방법이다.

3. 다수의 장애물 회피 경로

하나 이상의 장애물이 있는 경우 각각의 장애물에 대해 등각 사상을 반복하면 된다. 예를 들어 그림 7과 같은 경우 먼저, 장애물 A를 중심으로 등각 사상을 시켜 장애물 A를 회피하는 경로를 만든 다음, 이를 가지고 장애물 B의 중심으로 등각 사상을 시키면 A와 B를 회피하는 경로를 생성할 수 있다. 이때, 등각 사상의 특성상, 경로에서 멀리 떨어져 있는 물체에 대해서는 등각 사상을 시켜도 거의 영향을 받지 않으므로 이들은 무시하면 된다.



(a) 장애물 A를 회피하는 경로

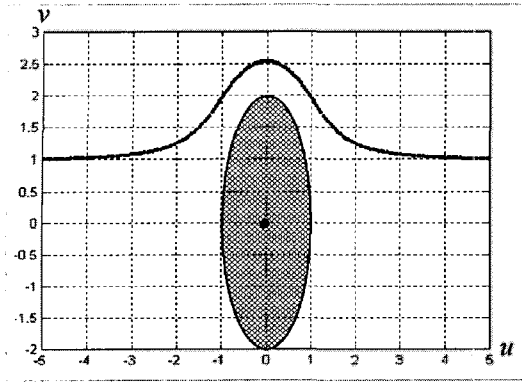


(b) 장애물 A와 B를 회피하는 경로

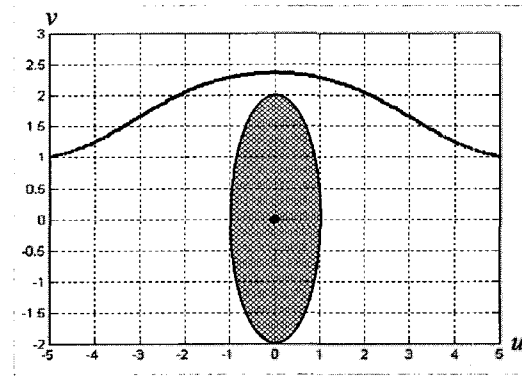
그림 7. 2개의 장애물을 회피하는 경로 생성
Fig. 7. Two obstacle-free path generation.

4. 경로 곡선의 유연성

경로를 곡선으로 표현할 때 곡선의 부드러운 정도를



(a)



(b)

그림 8. 경로 곡선의 유연성
Fig. 8. Smoothness of path.

유연도라 정의한다. 이 유연도는 아바타의 동적 한계와 밀접한 관계를 갖기 때문에 경로 생성시 고려해야 할 중요한 인자이다. 이 유연도가 나쁘면 경로오차를 유발하거나 미끄러짐이 발생하는 원인이 되기도 한다.

이 유연도를 좋게 하기 위해서는 장애물 회피 경로를 생성시키는 과정에서 등각 사상을 시키기 전 출발점과 도착점을 x축에 대해 축소시키는 비율을 증가 시켜주면 된다. 물론 등각 사상을 시킨 다음에는 축소시킨 비율만큼 다시 확대시킨다. 그럴 경우 장애물 회피 경로의 유연도는 더욱 좋아지게 된다.

그림 8(a)는 장애물의 크기에 맞게 등각 사상을 시켜 생성된 경로이고 그림 8(b)는 등각 사상을 시키기 전 장애물의 크기보다 더 축소를 시켜 경로의 유연성을 좋게 한 경우이다.

IV. 전체 환경에서의 구현

1. 실험 환경

그림 9는 본 논문의 실험을 위한 전체 시스템의 구성도를 나타낸 것이다. 전체 시스템은 주 컴퓨터와 사이버 글러브(CyberTouch™) 시스템으로 구성되어 있다. 주 컴퓨터는 MS Windows NT Workstation 4.0을 OS로 하는 Pentium III 500MHz Dual CPU의

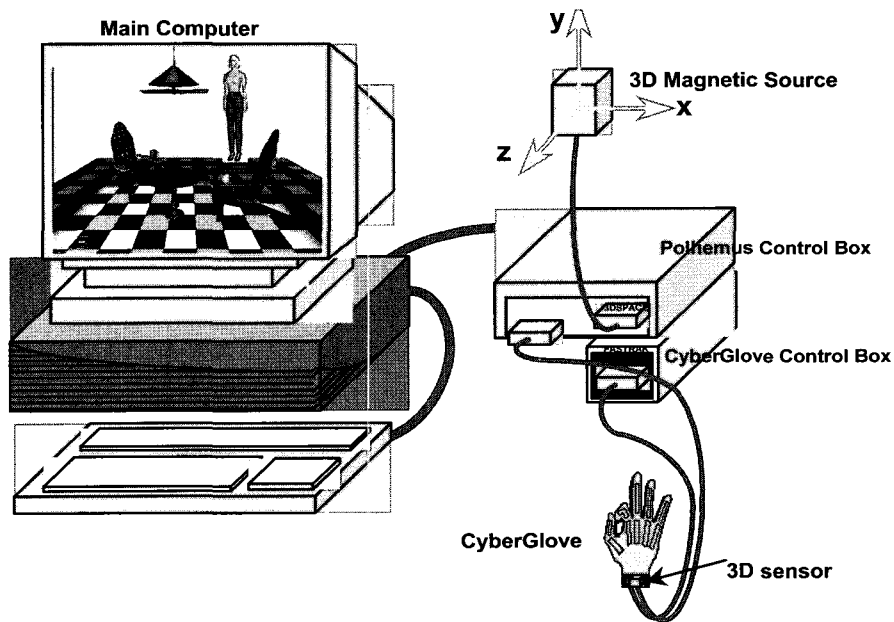


그림 9. 전체 시스템 구성도
Fig. 9. System configuration.

PC와 DIAMOND사의 Fire GL1의 그래픽 가속기를 사용하였다. 사이버 글러브 시스템은 손의 움직임을 인식하고 해석하여 아바타에게 동작 명령을 내리기 위한 것으로 10개의 손 곱힘을 측정할 수 있는 Virtual Technologies사의 CyberTouchTM와 3개의 절대 위치를 측정할 수 있는 Polhemus사의 FastrakTM으로 구성되어 있다. 이들은 모두 38,400 baud rates로 RS232 통신을 통해 주 컴퓨터에 연결되어 있다.

프로그램의 플랫폼은 Visual C++ 6.0을 컴파일러로 사용했으며, 3D 그래픽 및 애니메이션을 위해서 Open GL 및 OpenGL Optimizer 1.2, Cosmo3D 1.2를 사용하였다.

2. 인체 아바타 모델링

인체는 매우 많은 관절과 자유도를 가지고 있으며, 관절의 위치 또한 부정확하기 때문에 인체 아바타를 실제 인간과 똑같이 모델링하는 것은 거의 불가능하다, 따라서, 인체의 동작을 아바타가 최대한으로 어색함 없이 표현할 수 있도록 아바타 모델을 분류하고 각 관절의 종류와 위치를 결정하였다.

먼저 인체 아바타 모델을 16개의 부분으로 구분하였다. 각 부분들은 머리부, 몸통부, 왼팔부, 오른팔부, 왼다리부, 오른다리부로서, 몸통부는 가슴, 배, 어깨로 구성되고 양 팔은 상박, 하박, 손으로 구성되며, 양 다리는 허벅지, 종아리, 발로 나뉘어 진다.

이 부분들은 각각, *.wrl의 확장자명을 가지는 VRML 파일 포맷으로 되어 있으며, 전체 아바타의 모델을 만들기 위해서 이 파일들을 C++ 프로그램에서 읽어 들인다. 그 다음, 인체의 동작특성에 맞게 각 구성 부분들을 변형시켜 통합시키는 과정을 거치게 된다. 아바타 모델의 각 구성 부분들은 관절로 연결되어 있는데, 인체의 동작특성을 고려하여 그림 10과 같이 목 3자유도(x, y, z), 어깨 3자유도(x, y, z), 가슴 1자유도(x), 허리 3자유도(x, y, z), 팔꿈치 1자유도(x), 골반 3자유도(x, y, z), 손목 3자유도(x, y, z), 무릎 1자유도(x), 발목 3자유도(x, y, z) 등 총 35개의 자유도를 가지도록 하였다. 이때 인체는 각 관절마다 동작의 한계를 가지고 있기 때문에 인체 아바타 역시 각 관절의 가동 범위를 설정하여 인체 아바타의 동작 제어시 어색함이 없도록 하였다.

그림 11은 35개의 자유도를 가진 인체 아바타를 관절 기호로써 모델링 한 것이다.

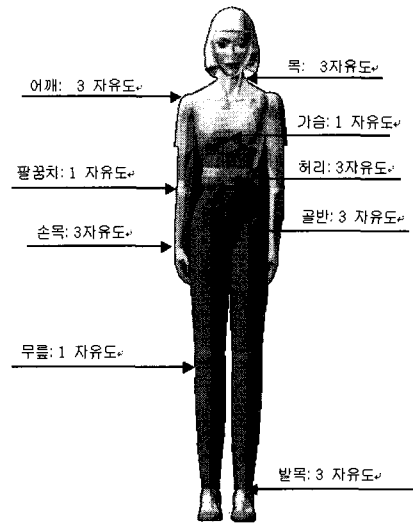


그림 10. 인체 아바타 모델에서의 자유도
Fig. 10. Degree of freedom of human avatar model.

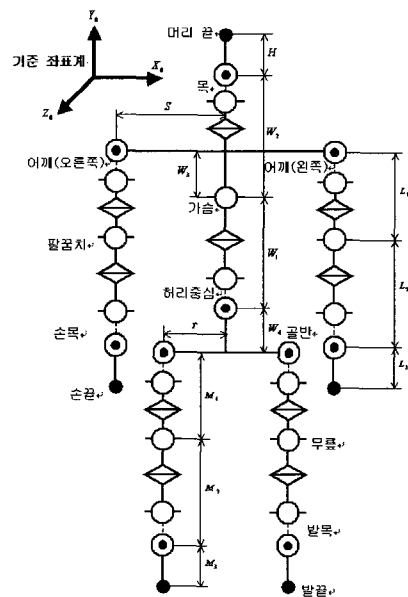


그림 11. 관절 기호로 모델링한 인체 아바타
Fig. 11. Human avatar modeling using joint symbols.

3. 인체 아바타의 동작제어

아바타의 동작을 제어하기 위한 첫 번째 단계로서 모델링된 인체 아바타의 운동학적 해를 구해야 한다. 정운동학의 해를 구함으로써 각 관절들의 회전각에 따른 머리 끝, 두 손 끝과 두 발 끝의 위치를 알 수 있게 되기 때문이다.

앞에서 살펴본 바와 같이 인체 아바타는 많은 수의 관절로 이루어져 있기 때문에 정운동학의 해를 구하는 것 뿐 아니라 동작제어의 다음 단계인 역운동학의 해를 구하는 데 굉장한 어려움이 있게 된다. 이를 해결하기 위해서 인체 아바타의 각 관절들을 그룹으로 구성하여 각 그룹에 대한 정운동학의 해를 구하였다.

다음으로 아바타가 손으로 어떤 물건을 잡으려고 할 때나, 계단을 오르내려야 하는 경우와 같이, 아바타의 말단부들을 원하는 위치로 이동시키는 동작을 만들어 내기 위해서는 역운동학 해를 이용하였다.

각 신체의 동작 생성에 있어서는 삼각함수를 이용한 비선형 보간법을 사용하였는데 키 프레임을 중심으로 하여 각 관절 각을 선형적으로 균일 등분하는 보간법을 사용하게 되면 관절의 움직임이 실제 인간과는 많은 차이를 보이기 때문이다.

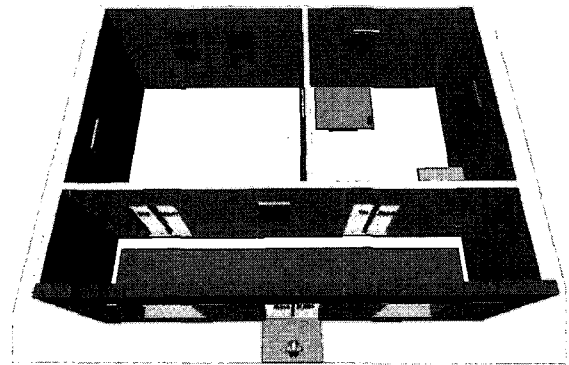
4. 전체 환경에서의 경로 생성

제 III장에서 언급했듯이 등각 사상을 이용한 장애물 회피 경로 생성 방법은 부분경로를 결정하는데 있어서는 매우 유용한 방법이다. 그러나, 집이라는 가상 공간 안에서 아바타의 경로를 설정하기 위해서는 장애물 회피 경로뿐만 아니라 임의의 방에서 다른 방으로의 이동 경로가 필요하다. 이 경우 방의 벽면을 모두 장애물로 간주하여 장애물 회피 경로를 생성한다는 것은 불가능하며, 이는 원형이나 타원형의 장애물로 나타낼 수 없기 때문이다.

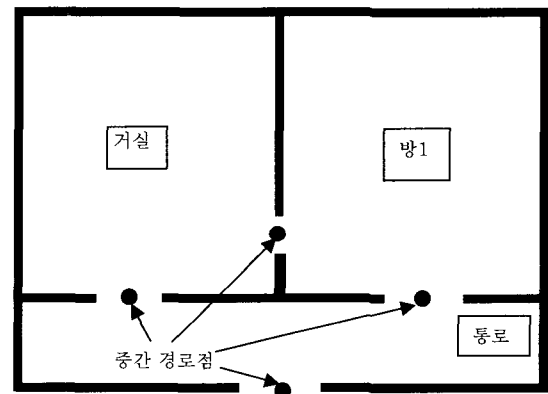
따라서, 전체 환경에서 거쳐가야 할 개략적인 경로는 찾아내는 전역 경로 계획 과정과 그 경로에 놓여진 장애물을 회피하는 경로를 찾아내는 부분 경로 계획 과정을 통합시켜야 한다.

그림 12는 아바타가 활동할 수 있는 가상 공간이다. 그림 12에서 보면 알 수 있듯이 거실에서 방1로 이동하고자 할 때나 반대로 방1에서 거실로 이동하고자 할 때, 또는 주거 공간 밖으로 나가고자 할 때는 항상 출입문을 지나가야 한다. 따라서 출입문의 가운데 지점을 중간 경로점이라 지정하여, 원하는 도착점이 현재 아바타가 있는 방 내부가 아닐 경우에는 일단 가까운 중간 경로점과 현재 위치를 잇는 직선 경로에 대해 등각 사상을 이용한 경로를 생성시킨다. 그리고 난 다음 다시 중간 경로점을 출발점으로 간주하여 중간 경로점과 도착점을 잇는 직선 경로에 대해 등각 사상을 취하면 전체 환경에서의 경로생성이 완성이 된다. 물론 등각 사상을 이용한 경로 생성 시에는 아바타가 위치하고 있

는 방 내부의 장애물을 회피할 수 있는 경로 생성이 되는 것이다.



(a) 3차원 가상 공간



(b) 2차원 가상 공간

그림 12. 주어진 가상 주거 공간

Fig. 12. Cyber space.

만일 원하는 도착점이 아바타가 위치하고 있는 방 내부일 경우에는 등각 사상을 이용한 장애물 회피 경로만 생성시키면 된다.

단, 여기서 중간 경로점은 장애물의 위치를 지정해 주듯이 사용자가 설정해 주어야 한다. 일단 가상 주거 공간이 결정이 되면 공간내의 장애물은 사용자의 취향에 따라 위치가 옮겨 질 수가 있지만 주거 공간 자체는 변화하지 않는다. 그러므로 주어진 주거 공간에 대해 한번만 중간 경로점을 지정하면 아바타의 자율적인 경로 생성이 가능하게 된다.

그림 13은 전체 가상 공간에서 임의의 도착점이 주어졌을 경우 생성되는 아바타의 이동 경로를 보여주고 있다.

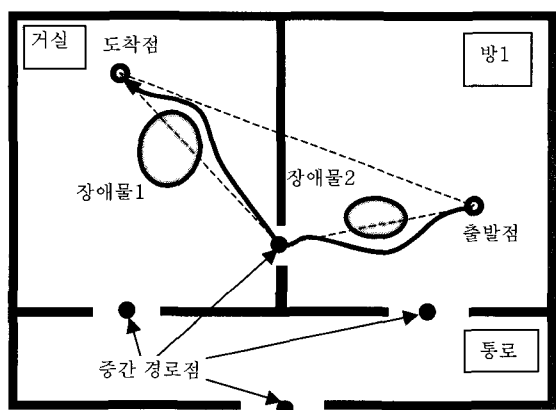


그림 13. 전체 가상 공간에서의 경로 생성
Fig. 13. Path generation in Cyber space.

이처럼, 중간 경로점을 이용한 전역경로계획 방법과 등각사상을 이용한 장애물 회피 경로 생성 방법을 통합시켜 이용함으로써 아바타의 자연스러운 이동 경로를 만들어 낼 수 있었다. 또한 생성된 경로를 아바타의 허리 중심점이 따라가게 함으로써 아바타가 자율적으로 장애물을 회피하여 원하는 지점까지 보행할 수 있었다.

V. 결론 및 추후과제

본 논문에서는 가상 환경에서 인체 아바타의 경로를 생성하기 위한 방법으로, 기존의 다각형 지도 환경에서 적합한 경로 생성 방식이 아닌 원형, 타원형의 장애물을 가지는 지도 환경에 적합한 경로 생성 방식을 제안하였다.

제안된 방식은 등각 사상을 이용한 방법으로 원형 장애물뿐만 아니라 타원형 장애물에 대해서도 효과적인 장애물 회피 경로를 생성할 수 있으며, 다수의 장애물에 대해서도 좋은 결과를 나타낸다. 또한 타원형 장애물을 회피하는 경로를 생성하는 경우, 일반 다각형의 장애물을 타원형으로 근사 시킬 수 있으므로 아주 유용한 방법이라 할 수 있다. 더구나 아바타의 움직임과는 독립적으로 경로만을 생성시켜줄 뿐만 아니라 가상 중력장을 이용한 방법에서 나타나는 부분 최소점 발생 문제가 없기 때문에 아바타를 원하는 경로를 따라 정확하게 이동시킬 수가 있으며 아바타의 움직임 특성의 변화도 용이하다.

또한 아바타가 활동하는 가상 공간에서는 앞에서 제시한 등각 사상을 이용한 방법을 사용하여 부분 경로

계획을 세우고 중간 경로점을 이용한 전역 경로 계획을 세움으로써 전체 환경에서 아바타가 자연스럽게 이동할 수 있는 경로를 생성하였다.

‘등각 사상을 이용한 장애물 회피 경로 방법’을 응용하여 원형, 타원형 장애물뿐만 아니라 ‘ㄱ자형’ 또는 ‘ㄷ자형’ 장애물 같은 좀더 다양한 장애물 회피 방법을 고안해 내는 것이 앞으로 연구되어야 할 과제이다.

참고 문헌

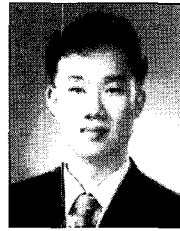
- [1] Heyung Byun, "Survey on the motion control systems," *Tech Memo 98-1*, Virtual Reality Research Group, Computer Science Department, KAIST, Korea, 1998.
- [2] S. Benford, L. E. Fahlen, J. Bowers, C. Greenhalgh and D. Snowdon, "Embodiments, avatars, clones and agents for multi-user, multi-sensory virtual worlds," *ACM Multimedia System*, 5(2), pp. 93-104, 1997.
- [3] N. Badler, M. Hollick and J. Granieri, Real-time control of a virtual human using minimal sensors, *Presence*, 2(1), pp.82-86, 1993.
- [4] S. Stansfield, "Distributed virtual reality simulation system for situational training," *Presence*, 3(4), pp. 360-366, 1994.
- [5] P. J. McKerrow, "Introduction to Robotics," Addison Wesley Publishing Company, 1991.
- [6] Elon Rimon, "Exact Robot Navigation Using Artificial Potential functions", *IEEE Transaction on Robotics and Automation*, Vol. 8, No. 5, Oct. 1992.
- [7] T. Lozano-Peréz and M. A. Wesley, "An Algorithm for Planning Collision-Paths among Polyhedral Obstacles," *International Journal of Robotics Research*, Vol. 11, no. 4, pp. 560-1979.
- [8] Yun-Hui Liu, "Computation of the Tangent Graph of Polygonal Obstacles by Moving-Line Processing," *IEEE Transaction on Robotics and Automation*, Vol. 10, No. 6 DEC 1994.

- [9] Wang Tianmiao and Zhang Bo, "Time-Varying Potential Field Based 'Perception-Action' Behaviors of Mobile Robot," *Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation(Nice, France)*, pp. 2549-2553, 1992.
- [10] O. Khatib, "Real-Time Obstacle Avoidance for Manipulators and Mobile Robots," *Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation(St. Louis, Mo)*, pp. 500-505, 1985.
- [11] Dennis G. Zill, Michael R. Cullen, "Advanced Engineering Mathematics" *PWS Publishing Com*, pp.1056-pp. A-13, 1992

 저 자 소 개

金 鍾 成(正會員) 第 34券 C編 第 2號 參照

1997년 2월~현재 ETRI 컴퓨터-소프트웨어 기술연구소 VR Center 3차원협동공간 연구팀 팀장. 주 관심분야는 재활 공학(Rehabilitation Engineering), 패턴 인식, Machine Vision, Intelligent System(Fuzzy, 인공신경망), 가상현실 등임



都 俊 亨(正會員)

1977년 10월 2일생. 1999년 2월 KAIST 전기 및 전자공학과 학사졸. 1999년 3월~현재 : KAIST 전자전산학과 전기 및 전자공학 전공 석사과정, 주관심 분야는: Intelligent System, Machine Vision, Machine Learning, 가상현실 등임

朴 洸 賢(正會員)

1994년 KAIST 전기 및 전자공학과 졸업(공학사), 1997년 동대학원 졸업(공학석사). 2001년 2월 KAIST 전자전산학과 전기 및 전자공학 전공 졸업(공학박사), 주관심 분야는 학습제어, 지능제어, 로봇공학 등임

金 亨 培(正會員)

1971년 1월 21일생, 1996년 2월 연세대학교 전자공학과 학사, 1998년 2월. KAIST 전기 및 전자공학과 석사, 1998년~현재 KAIST 전자전산학과 전기 및 전자공학 전공 박사 과정. 주관심 분야는 Gesture Recognition, Virtual Reality, Robotics, Image Processing 등임

宋 慶 俊(正會員) 第 34券 C編 第 9號 參照

1985년 1월~2000년7월 ETRI 선임연구원, 2000년7월~현재 DDRSoft(주) 전무이사. 주관심 분야는 가상현실, HCI, 멀티미디어 시스템 등임

卞 增 男(正會員) 第 30券 B編 第 10號 參照

현재 KAIST 전자전산학과 교수