

# Scene Graph 순회를 이용한 3D 객체 조작 사용자 인터페이스

한덕수<sup>0</sup>, 임윤호, 임순범<sup>+</sup>, 최윤철  
연세대학교 컴퓨터과학과  
<sup>+</sup>숙명여자대학교 멀티미디어학과

## 3D User Interface for Object Manipulation using Scene Graph Traversal

Deok<sup>0</sup>-Soo Han, Yoon-Ho Lim, Soon-Bum Lim<sup>+</sup>, Yoon-Chul Choy  
Dept. of Computer Science, Yonsei University

<sup>+</sup>Dept. of Multimedia Science, Sookmyung Women's University

E-mail : {dshan,limyh,ycchoy}@rainbow.yonsei.ac.kr, sblim@sookmyung.ac.kr

### 요 약

최근 그래픽 하드웨어의 성능향상과 인터넷의 발전으로 이를 기반으로 하는 인터랙티브 3D 그래픽스와 데스크탑 가상환경 분야에 대한 관심이 높아지고 있다. 그러나 데스크탑 가상환경에서 객체의 조작과 관련된 3D 사용자 인터페이스에 대한 성공적인 연구사례는 찾아보기 힘들다. 그 이유는 하드웨어적인 제약과 더불어 3D공간상의 객체를 2D상에서 조작함으로써 발생하는 인지적인 문제해결이 어렵기 때문이다. 이의 해결을 위해 본 논문에서는 객체를 구성하는 장면 그래프를 내부적으로 분할하여 생성된 서브트리의 순회를 통해 객체의 세부 단위요소를 쉽게 선택하고 해제하는 일련의 객체조작 기법을 제안한다. 또한 각 조작단계에서 사용자의 의사결정을 돕는 다양한 시각 피드백 기능을 함께 지원한다. 제안된 기법은 정교한 객체의 조작을 필요로 하는 분야의 3D 사용자 인터페이스 구축에 매우 효과적으로 적용될 수 있음을 확인하였다.

### 1. 서론

최근 3D 그래픽스 표준제정과 그래픽 가속 하드웨어의 빠른 발전으로 데스크탑 환경의 인터랙티브 3D 그래픽스 분야가 매우 발전하고 있다. 또한 인터넷에 기반한 데스크탑 가상현실(VR:Virtual Reality)의 발전으로 이전의 몰입형(Immersive) 가상현실만을 순수한 가상현실로 여겨왔던 개념이 PC 환경의 인터랙티브 3D 그래픽스 분야와 데스크탑 가상현실까지 확대되었다. 특히 VRML(Virtual Reality Modeling Language)과 같은 3D 그래픽스 표준제정과 웹 브라우저에서 플러그인 형태로 이 포맷을 지원하는 몇몇 브라우저의 개발 그리고 인터넷 기술의 발전은 분산형 가상환경의 범용화를 가속화 하여 이에 대한 관심이 더욱 고조되고 있다.

데스크탑 가상현실은 교육, 훈련, 엔터테인먼트, 전자상거래, 게임 등 여러 분야에서 활용되고 있으며 초보자로부터 숙련자 까지 다양한 사용자들을 두고 있다. 따라서 직관적이고 자연스러운 3D 사용자 인터페이스가 절실히 요구되나 아직까지 만족스런 결과가

나오지 않고 있다. 그 이유는 다양한 하드웨어를 기반으로 하는 몰입형 가상현실 분야와 달리 주로 2D 마우스를 사용한다는 하드웨어적 제약과 더불어 3D공간상의 객체를 2D상에서 조작함으로써 발생하는 인지적인 문제해결이 어렵기 때문이다. 기존 가상환경 브라우저들을 살펴봐도 간단한 네비게이션과 관찰모드 외에 몇 가지 부가기능 정도만을 지원하고 있어 사용자들이 많은 상호작용상의 어려움을 느끼고 있다.

최근 2D 마우스의 하드웨어적 한계를 극복하기 위해 6 DOF를 보장하는 다양한 3D 입력 디바이스들이 개발되어 게임 등의 분야에 쓰이고 있다. 하지만 대부분의 데스크탑 가상현실에서는 여전히 2D 마우스를 주 입력 장치로 사용하기 때문에 이에 기반한 3D 사용자 인터페이스의 개선은 필수적이다.

가상현실 사용자들은 가상환경 내에서 주로 네비게이션과 객체조작(Manipulation)행위를 하게 되는데 지금까지 많은 연구자들은 효율적인 네비게이션 기법만을 중점적으로 연구해왔다. 그러나 전자매뉴얼(IETM:Interactive Electronic Technical Manual)

에서와 같이 항공기 부품 등의 복잡하고 정밀한 기계 장치를 인터랙티브 3D 그래픽으로 제작하여 교육훈련용 콘텐츠로 사용할 경우에는 객체를 선택하여 돌려보거나 이동을 시키는 등 일련의 객체조작행위를 주로 한다. 이때 효과적인 객체 조작기능을 구비한 3D 사용자 인터페이스의 부재는 교육효과와 작업능률을 떨어뜨리는 주요 원인이 될 수 있다.

따라서 본 논문에서는 객체를 구성하는 장면 그래프 구조를 내부적으로 분할하여 생긴 각 서브트리의 순회를 통해 객체의 세부 단위요소 즉 개별 객체를 선택하고 해제하는 일련의 객체조작 기법을 제안한다. 또한 각 조작단계에서 사용자의 의사결정을 돕는 다양한 시각피드백 기능을 함께 지원한다. 제안된 기법은 정교한 객체의 조작을 필요로 하는 분야의 3D 사용자 인터페이스 구축에 매우 효과적으로 적용될 수 있다.

## 2. 관련 연구

3차원 가상환경에서 네비게이션을 제외한 대부분의 행위는 객체의 조작이다. Bowman[1]은 3D 객체조작을 크게 선택(Selection), 조작(Manipulation), 해제(Release)등 세 가지로 구분하였고 Foley, D. 등 여러 연구자들[2, 3, 4]은 컴퓨터 그래픽스 인터랙션을 선택(Selection), 배치(Position), 회전(Orient), 텍스트입력(Text), 숫자입력(Quantify)등 다섯 가지로 구분하였다. 위를 보고 알 수 있듯이 객체조작기능 중 가장 기본이 되는 것은 객체선택(Selection)이다.

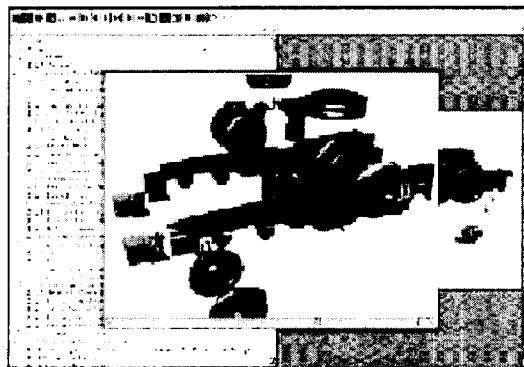
몰입형 가상현실에서의 대표적인 객체선택기술들은 기본적인 'Simple virtual hand' 개념부터 출발하여 'Ray-casting'[5], 'Go-go technique'[6] 등이 있으며 이외에도 다양한 기법들이 있다.

증강현실(AR: Augmented Reality)에는 각종 센서들, HMD(Head Mounted Display), 데이터글러브, 각종 트래킹장비 등 대부분 몰입형 가상현실에서 사용되는 장비들을 이용한 인터랙션 기술들이 있다.

데스크탑 가상환경에서의 객체조작에 관한연구는 몰입형 가상현실이나 증강현실에 비해 매우 저조하다. 2D 마우스를 이용한 3D 객체조작에 관련된 기존연구는 Nielson[7]이 2D 마우스를 사용한 객체의 이동에 관한 기술을 제안하였고 K.Shoemake[8]는 객체의 회전 방법을 제시 하였으며 Terii Stein[9]은 독특한 메트릭 커서를 이용한 새로운 객체조작기법을 제시하였다. 그러나 이들 모두 객체 모델링단계에서 필요한 점과 선을 다루는 기술들이기 때문에 데스크탑 가상

환경에서 객체를 조작하는 기법과는 거리가 있다.

기존 데스크탑 가상환경에서 객체 선택기능을 살펴보면 대상 객체를 2D 마우스로 포인팅 하여 좌측버튼을 클릭(click)하는 평이한 방법 외에 전무한 실정이다. 이는 가장 쉬운 방법이지만 [그림 1][10]과 같이 전자매뉴얼에서 사용하는 복잡한 기계부품을 모델링한 3D 장면 내에서 크기가 작거나 다른 객체와 겹쳐져 조금밖에 보이지 않는 객체를 선택 하는 데는 어려움이 따른다.



[그림 1] 전자매뉴얼(IETM)의 예

사용자가 객체를 잘못 선택 하였을 경우에 선택을 해제(Release)할 때는 화면상의 여백을 클릭하거나 다른 객체를 선택하면 자동으로 해제가 된다. 그러나 객체가 확대되어 화면을 가득 메울 경우를 대비한 별도의 해제방법도 필요하다.

객체조작에 있어 중요한 요소 중 하나는 객체조작 상태를 사용자에게 알려주는 피드백이다. Bowman은 이 피드백의 종류를 'graphical', 'force/tactile', 'audio'로 구분 하였다. 이 분류는 비록 몰입형 가상환경을 전제로 하고 있으나 데스크탑 가상현실에 적용가능한 적절한 형태로는 'graphical'에 해당하는 시각 피드백이 가장 타당하다. 그 실례로 3D Max로 객체를 모델링 할 때 선택된 객체주변에 육면체 모양의 바운딩 박스가 생성되는 것을 볼 수 있다.

## 3. 3D 객체조작

우리가 제안한 3D 객체 조작기법은 데스크탑 가상환경에서 'Direct Manipulation'의 한계를 보완해주는 것으로써 전자매뉴얼의 경우와 같이 항공기부품 등의 복잡한 3D 객체도 2D 마우스를 사용하여 손쉽게 조작할 수 있다.

### 3.1 3D 객체선택 및 해제

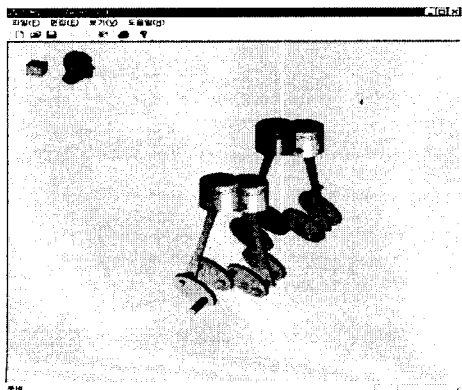
제안된 기법으로 특정객체를 선택하고 해제하는 방법은 다음 [그림 2]와 같다.

```

①.선택대상 객체를 마우스로 포인팅 하여 클릭;
②.if (대상객체가 바로 선택됨)
    then 해당객체를 조작;
    else if (대상 객체가 선택트리에 있음)
        then 마우스 휠로 대상 객체를 찾아
            선택한 후 해당객체를 조작;
        else if (선택을 재시도하기 원함)
            then ①.과정으로 이동;
            else 휠 자체 클릭 or 여백
                을 클릭 하여 초기화;
    
```

[그림 2] 객체선택 및 해제 방법

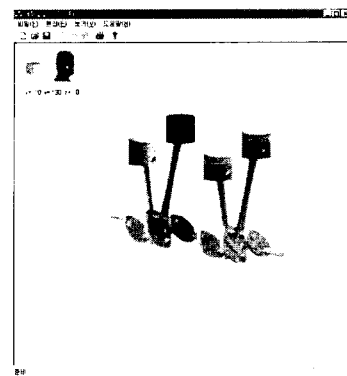
이 과정이 수행되는 동안 제안된 기법을 적용시킨 인터페이스의 역할을 프로토타입을 통해 객체선택과 시각 피드백을 중심으로 알아보면 다음과 같다. 프로토타입은 자동차엔진의 피스톤을 예로 하여 구현하였다. 사용자가 선택을 원하는 객체에 마우스를 포인팅 하여 클릭하면 인터페이스는 [그림 3]과 같이 일단 선택된 객체를 다른 개체들과 구분되는 색으로 바꿔줌으로써 부품이 선택되었음을 피드백 해주고 동시에 내부적으로는 전체 장면그래프로부터 선택된 객체가 속한 서브트리를 분리하여 이른바 선택트리를 생성하고 이 트리에 속한 개체들을 직접적으로 선택된 객체와 같은 색이지만 약간 어두운 색으로 바꿔줌으로써 2차적으로 마우스 휠을 사용하여 선택될 수 있음을 암시해준다. 프로토타입에서는 실험적으로 붉은색을 사용하여 시각 피드백을 제공한다.



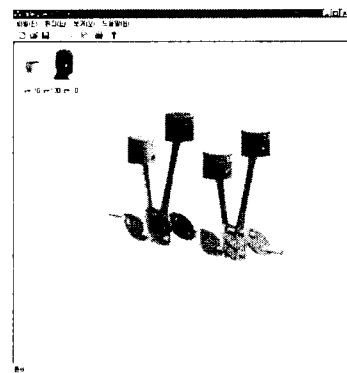
[그림 3] 객체선택을 알리는 시각 피드백

즉 사용자가 3D장면내의 한 객체를 선택할 경우 다행히 원하는 객체가 한번의 클릭으로 선택되면 곧바로 객체를 회전시키거나 이동을 시키는 등의 일련의 조작을 하면 된다. 그러나 원하는 객체가 한번에 선택되지 않았을 경우에는 마우스 휠을 앞뒤로 회전시켜서 대상객체가 선택될 때까지 선택트리에 속하는 객체들을 순환하다가 원하는 객체가 선택이 되면 다음동작으로 넘어가 필요한 객체조작을 하면 된다.

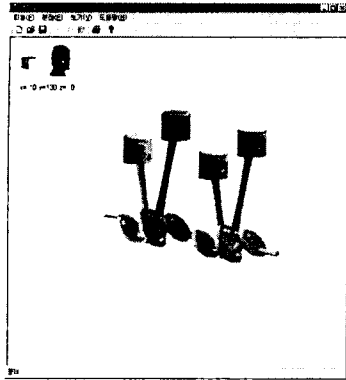
[그림 4]는 마우스 휠을 사용하여 선택트리를 순회하며 객체를 선택하는 과정을 보인다. (c)는 최초 피스톤 암을 클릭 한 장면이고 (b)는 휠을 앞으로 1단 회전 시킬 때 암과 피스톤헤드의 연결편이 선택되는 장면이며 (a)는 휠을 앞으로 2단 회전 시킬 때 피스톤헤드가 선택되는 장면이다. (d)와 (e)는 휠을 아래로 1단씩 회전 시킬 때 객체가 차례로 선택되는 과정을 보이고 있다.



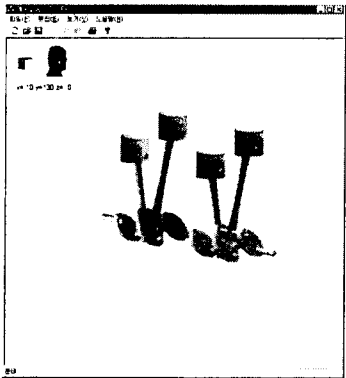
(a)앞으로 2단 회전 시



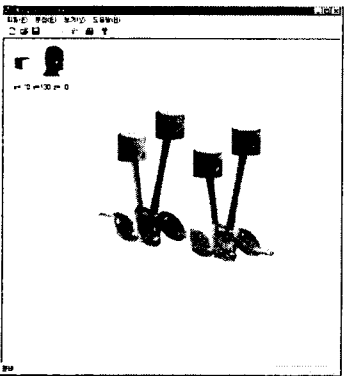
(b)앞으로 1단 회전 시



(c)최초 선택된 객체



(d)뒤로 1단 회전 시



(e)뒤로 2단 회전 시

[그림 4] 마우스 휠을 사용한 객체선택 과정

만약 사용자가 객체선택을 해제하고자 할 때는 화면의 여백을 클릭하거나 다른 객체를 선택하면 이전에 선택된 객체는 해제가 된다. 그러나 객체가 확대되

어 장면을 가득 메울 경우에는 여백을 찾기가 어려워 모든 객체가 선택되지 않은 초기상태로 돌아가기가 어렵다. 이때 사용자는 마우스 휠 자체를 마우스 중간 버튼으로 여기고 클릭하면 모든 객체가 선택 이전의 상태 즉 초기상태로 돌아간다.

### 3.2 시각 피드백

사용자가 객체를 조작 할 때 적절한 의사결정을 하기 위해서는 조작단계마다 적절한 피드백이 필요하다. 여기서 사용자는 선택된 객체의 색깔 변화로 객체선택 여부를 인지할 수 있다. 또한 선택한 객체를 회전시킬 때 그 회전정도를 객체와 연동하는 사람의 두상과 정육면체를 통해 직관적으로 인지할 수 있으며 동시에 정확한 수치로도 볼 수 있다.[그림 5]



[그림 5] 회전량 레퍼런스 시각 피드백

### 4. 인터페이스 구현

사용자에 의해 선택된 객체가 속한 선택트리는 선택된 객체에 해당하는 노드의 부모노드를 루트로 한 서브트리 전부를 장면그래프로부터 분리해서 생성한다. 그 후 선택트리를 전위순회방식으로 순회하여 선택트리의 각 노드의 선행 순서를 결정한다. 그리고 현재 선택된 노드를 출발점으로 앞서 계산된 전위순회에 의한 순서에 따라 마우스의 휠을 사용해 특정 오브젝트로 포커스를 이동할 수 있다. 전위순회에 대한 의사코드는 다음 [그림 6]과 같다.

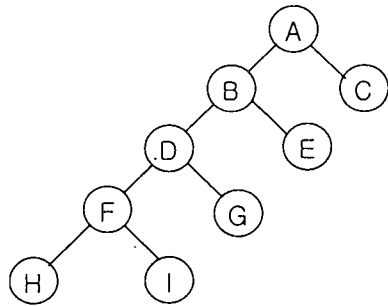
```

/*Preorder traversal*/
void preorder(tree_pointer t)
{
    if (t가 존재)
    {
        t값을 출력;
        preorder(child1);
        preorder(child2);
        :
    }
}
    
```

[그림 6] 전위순회 의사코드

예를 들어 [그림 7]과 같은 트리를 전위순회 하면 A,B,D,F,H,I,G,E,C의 순서로 순회한다. 이와 같은 방식으로 선택된 객체가 속한 선택트리의 각 노드에 대응되는 각 객체들이 마우스 휠의 회전방향에 따라 위 순서로 전진 또는 후진하며 선택되는 것이다.

잘못 선택된 객체를 해제할 때는 화면의 여백과 마우스 휠을 중앙버튼으로 클릭 하도록 하여 초기화 되도록 하였고 다른 객체를 선택하면 자동적으로 선택해제가 되도록 구현 하였다. 이는 선택된 객체가 확대 될 경우 선택해제에 필요한 여백을 찾아 클릭하려면 오히려 사용자에게 피로도를 증가 시킬 우려가 있어 이와 같이 구현하였다.



[그림 7] 선택 트리의 예

선택된 객체의 색깔을 바꿔주는 시각 피드백 외에 선택된 객체의 상하좌우 형태를 분명히 관찰할 수 있도록 하고 객체의 현재 회전정도를 피드백하기 위하여 회전정도를 반영하여 보여주는 레퍼런스 객체를 실세계에서 자주 접하는 사람의 두상과 정육면체를 채택하여 시각화하였고 그 하단에 수치데이터를 디스플레이 하였다. 이 레퍼런스는 메뉴를 통해 사용자가 원하는 위치에 융통성 있게 배치될 수 있다.

프로토타입은 OpenGL과 Visual C++를 사용하여 구현하였다.

## 5. 결론 및 향후연구

본 논문에서 제안된 기법은 2D 마우스를 기반으로 장면그래프의 분할로 생성된 선택트리의 순회를 이용한 효과적인 객체선택과 해제방안으로써 3D 객체조작기능을 개선하여 복잡한 장면의 작은 객체까지도 손쉽게 선택하고 적절한 피드백을 제공받으며 조작할 수 있다. 제안된 기법은 정교한 객체의 조작을 필요로 하는 분야의 유용한 3D 사용자 인터페이스 구축에 기여 할 것으로 기대된다.

향후 본 논문에서 제안된 기법을 더욱 발전시키기 위해 선택된 특정 개별부품이 나머지부품들에 영향을 주지 않고 독립적으로 확대 및 축소, 회전, 이동 될 수 있도록 개선하고 여기에 기존의 일반적인 객체조작기능들을 선별 통합함으로써 보다 직관적이고 자연스러운 3D 사용자 인터페이스를 개발하여 전자매뉴얼과 이와 유사한 분야에 적용시키고자한다.

### [참고문헌]

- [1]Doug A. Bowman, Donald B. Johnson and Larry F. Hodges; Testbed evaluation of virtual environment interaction techniques; Proc. of the ACM symposium on Virtual reality software and technology, pp. 26-33, 1999.
- [2]James D. Foley , Victor L. Wallace , Peggy Chan, The human factors of computer graphics interaction techniques, IEEE Computer Graphics and Applications, v.4 n.11, p.13-48, Nov. 1984
- [3]James D. Foley , Andries van Dam , Steven K. Feiner , John F. Hughes, Computer graphics: principles and practice (2nd ed.), Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc., Boston, MA, 1990
- [4]Grisson, S., Periman, G. StEP(3D): A portable discount usability evaluation plan for 3D interaction. Ohio State University, Department of Computer Science and Information Science, Technical Report OSU-CISRC-2/93-TR7, 1993
- [5]Mine, M. Virtual environment interaction techniques, UNC Chapel Hill Computer Science Tech. Report TR95-018, 1995
- [6]Ivan Poupyrev , Mark Billinghurst , Suzanne Weghorst , Tadao Ichikawa, The go-go interaction technique: non-linear mapping for direct manipulation in VR, Proceedings of the ACM symposium on User interface software and technology, November 1996
- [7]G.M.Nielson and D.R.Olsen Jr. Direct manipulation techniques for 3D objects using 2D locator devices, Proc. of the 1986 Workshop on Interactive 3D Graphics, pp.75-182, 1986
- [8]K.Shoemake, ARCBALL : A user interface for specifying three-dimensional orientation using a mouse, Proc. of the Graphics Interface '92, pp. 151-156, 1992
- [9]Terii Stein and Sabine Coquillart, The Metric Cursor, Proc. of the Eighth Pacific Conference, IEEE 2000, 2000
- [10]Macro Engineering, <http://www.macroeng.co.kr/>