

CAVE에서의 햅틱 암마스터를 이용한 사용자 환경의 구축

*김종국, *차삼곤, **김진욱, *송재복, **고희동

*고려대학교 기계공학과, **KIST IMRC

Implementation of User Interface Using a Haptic Arm Master in CAVE

*Jong-Kuk Kim, *Sam-Gon Cha, **Jin-Uk Kim, *Jae-Bok Song, **Hee-Dong Ko

* Dept. of Mechanical Eng., Korca Univ., **KIST IMRC

요 약

가상환경 기술이 발전하면서 보다 현실감 있는 가상환경을 구현할 수 있으나, 이를 사용하는 사용자 환경에 대한 연구는 아직 부족하다. 본 연구에서는 사용자에게 전 시야를 제공해 줄 수 있는 CAVE 시스템을 구축하였으며, 보다 현실감 있는 조작용 위하여 사용자에게 힘의 정보를 전달하여 줄 수 있는 햅틱 암마스터를 채택하였다. CAVE와 햅틱 암마스터를 사용하여 가상물체를 보면서 접촉하거나 조작할 수 있는 가상환경을 구축하였다.

keywords: *Virtual environment, CAVE, Haptic arm master, User interface*

1. 서론

대부분의 가상환경은 사용자에게 시청각 정보만을 제공한다. 이는 시청각 정보가 오감 중에서 상대적인 중요성을 가지며, 또한 가장 쉽게 구현할 수 있기 때문이다. 종래에는 단지 컴퓨터 화면이나 HMD와 같은 제한된 환경에서 평면 영상만이 사용되었는데, 최근에 와서는 입체적으로 영상을 제시할 수 있는 여러 방식이 소개되고 있다. 이러한 방식 중의 하나로 CAVE(Cave Automatic Virtual Environment)

라고 하는 다면의 거대한 가상환경을 통해서 사용자에게 높은 몰입감과 입체감을 제공하는 방식이 있는데, 본 연구에서는 영상 정보의 제공을 위해서 이 CAVE 시스템을 사용한다.[1]

많은 경우에 촉각, 후각, 미각 등 다른 정보들 시청각 정보와 더불어서 제시하면 훨씬 더 현실감 있는 가상환경을 구현할 수 있다. 이들 각각 중 촉각/힘의 정보 제시하는 기술을 연구하는 분야를 햅틱스라 하고, 이러한 장치를 햅틱장치(haptic device)라 하는데, 최근 10여년

간 햅틱스에 대한 연구, 개발이 활발히 진행되고 있다. 원래 햅틱스라는 용어는 촉각 제시를 의미하는데, 아직은 촉각 정보를 전달하는 데 많은 기술적인 문제가 있으므로, 주로 힘의 정보를 사용자에게 제시하는 장치들만이 개발되어 있다.[2] 본 연구에서는 사용자의 팔에 장착하여 팔의 움직임을 가상환경에 전달하고, 가상환경에서 발생하는 힘의 정보를 팔에 전달하는 역할을 하는 햅틱 암마스터라는 햅틱장치를 사용한다.

그러나 이러한 햅틱장치를 가상환경과 접목시키는 일은 그리 쉽지 않은데, 그 이유 중의 하나는 햅틱장치의 제어를 위해 요구되는 높은 갱신율을 영상이 제시하기 어렵기 때문이다. 즉, 영상의 경우에는 약 30Hz의 갱신율을 가지면 충분하지만, 힘의 정보를 위해서는 이보다 더 큰 갱신율이 필요하며, 촉각의 경우에는 훨씬 더 큰 갱신율이 요구된다. 또한, 햅틱장치는 사용자의 움직임을 정보를 가상환경에 전달하고, 가상환경에서의 여러 물리적인 법칙을 힘의 정보로 사용자에게 전달하여야 한다. 이러한 양방향 정보 전달 과정에서 시간 지연도 영상 정보와 힘 정보의 동기화를 위해서 극복되어야 한다. 이러한 이유로 햅틱장치는 가상환경 내에서 올바른 힘 피드백을 사용자에게 제공하기 위해 매개공간을 이용한 제어[3] 등을 수행하게 된다.



[그림 1] KU - IAM in CAVE system

본 연구에서는 그림 1과 같이 CAVE 시스템 내에 햅틱 암마스터가 위치하여 이를 장착한 사용자가 위치하여, 영상과 운동이 서로 동기화되는 사용자 인터페이스의 구축에 대한 것이다. 2장과 3장에서는 각각 CAVE와 햅틱 암마스터에 대하여 간략히 설명한다. 4장에서는 응용 사례로서 자동차 내에서의 조향휠 및 기어등을 조작하는 실험을 수행한다.

2. CAVE

CAVE란 복수 개의 영상 제시기를 사용하여, 사용자에게 좀더 능동적인 원근감 있는 영상을 제공해 주는 장비이다. 그림 2에 나타나 있는 KIST의 CAVE는 2.2m x 2.2m x 2.2m의 정육면체 공간에, 전면, 좌우면, 바닥면의 4면에 영상을 투사한다. SGI Oynx를 이용하여 4개의 채널로 사용자에게 영상을 제시한다. 또한, 3D 안경을 통해 사용자는 더욱 향상된 입체감을 느끼는 것이 가능하다. 이러한 4면 투사로 CAVE 내부의 사용자는 좌우 270도, 상방 45도, 하방 135도의 넓은 시야각을 가지게 된다. [1]

이러한 구성을 통해 사용자는 가상환경 외부에서 영상을 관망하는 것이 아니라, 가상환경의 내부에서 가상환경을 원근감 있게 직접 체험하는 것이 가능하므로 높은 몰입감을 느낄 수 있다.



[그림 2] CAVE

3. 햅틱 암마스터

그림 3에 나타나 있는 KU-HAM (Korea Univ. - Haptic Arm Master)라 불리는 햅틱 암마스터는 어깨 3자유도, 팔꿈치 1자유도 및 손목 1자유도를 갖는 5자유도 햅틱장치이다. 사용자의 팔에 장착하는 형태로 되어 있으며, 바닥고정식으로 구성되어 있어서 대부분의 무게를 받침대가 부담하므로 사용자가 느끼는 무게는 최소화된다. 힘 피드백이 수행되지 않을 때에는 사용자는 어깨, 팔꿈치, 손목 등을 비교적 자유로이 움직일 수 있다. 그러나 가상환경에서 사용자의 팔에 제시하여야 되는 힘이 주어지면 5자유도에 해당하는 5개의 모터가 적절히 제어되면서 사용자의 손에 가상환경의 힘 정보를 정확히 제시하게 된다. [4, 5]



[그림 3] KU-HAM(haptic arm master)

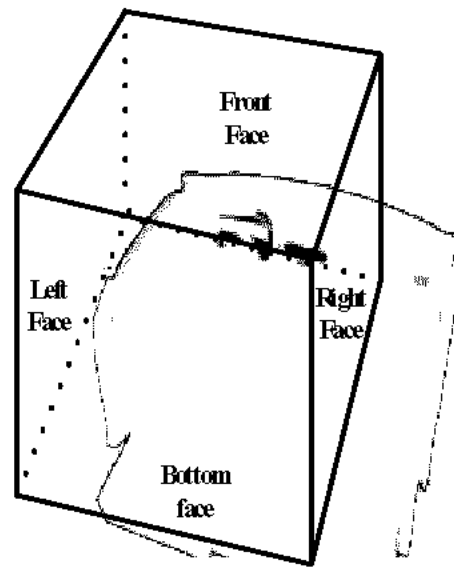
KU-HAM은 외골격 형태로 제작되어 사람의 팔과 직접 접촉하여 움직이게 되며, 각 축의 모터에 장착된 높은 분해능의 엔코더를 통해 각 모터의 움직임을 구할 수 있다. 햅틱 암마스터의 내부 프로세서인 DSP(digital signal processor)에서는 이를 이용하여 기구학 해를 구하여 정확한 작용점의 좌표를 계산한 다음에 디바이스 서버에 전달한다. 또한, 햅틱 암마스터는 사용자가 단단한 벽에 접촉한다는 느낌을 줄 수 있도록 15N의 힘을 연속적으로 제공할 수 있는 능력을 갖고 있다.

4. 자동차 인터리어 모델

앞서 기술한 바와 같이, CAVE 환경의 경우

에 3D 안경을 이용하여 사용자에게 높은 입체감을 제공하는 것이 가능하므로 사용자는 화면상에 평면적으로 투영되어 보이는 것이 아니라, 입체적인 공간으로 보이게 된다. 이러한 입체적인 공간과 햅틱 암마스터의 작업공간에 맞는 힘피드백을 실행하기 위해, 자동차 인터리어 모델을 통한 실험환경을 구축하였다.

KU-HAM은 지면에 고정되어 있으므로 사용자의 시점이 고정되어 KIST CAVE 내부에서 자동으로 원근을 제제산해 줄 필요성이 없는 대신에 자동차 인터리어 모델의 운전석을 그림 4와 같이 CAVE 내의 사용자가 앉은 자세에서의 시점과 동일하게 만들어 주어야 한다. 자동차 인터리어의 경우, 고정식의 햅틱장치를 사용하더라도 좁은 공간내의 가상물체에 대한 힘피드백 환경을 구성하는 것이 가능하다. 가상현실 내부에서 자동차 내부 요소인 조향장치, 자동변속장치 및 조작버튼의 작동을 위해 현실과 동일한 힘피드백을 사용자에게 제시해 줄 필요성이 있다.



[그림 4] Vehicle interior projected in CAVE

조향장치의 경우, 사용자에게 조향휠의 무겁고 가벼움을 느낄 수 있도록 하기 위해서, 사용자의 움직임에 대해 5Ns/m - 15Ns/m 범위

의 감쇠계수를 가상현 모델에 적용하였다. 이러한 모델은 햅틱장치의 작용점 (KU-HAM의 손잡이)과 가상환경에서의 물체의 구속점 간의 상대 운동이 스프링-댐퍼 모델에 의해서 기술된다고 가정하여 얻을 수 있다. 즉, 햅틱장치의 작용점이 구속점에서 벗어나게 되면, 작용점을 구속점으로 복원시키려는 다음과 같은 힘이 발생된다.

5. 인체모델과의 동기화

KU-HAM를 이용해 가상환경 내의 가상물체에 접근하기 위해서는 가상환경 내에서 햅틱 암마스터를 대신하여 가상물체와 접촉할 수 있는 인터페이스가 필요하다. 본 실험의 경우와 다른 가상환경 시스템과는 달리 원거리에서 햅틱장치를 이용하여 화면상에 나타난 가상물체를 움직이는 것이 아니라, CAVE내에서 가상물체들과 일대일의 접근이 가능하다. 실험자의 몸이 가상환경 상에 직접 놓이므로, 이를 통해서 직접적으로 물체와 접촉하고 느끼는 것이 가능하다.

본 실험에서는 햅틱 암마스터를 이용하여 자동차 인테리어 내부의 구성물에 대한 조작성을 병가한다. 이를 위해 햅틱 암마스터의 움직임은 가시화된 인체모델[8]을 통해서 구현하고, 인체모델과 자동차 내부의 구성요소들과의 접촉 및 움직임에 의한 힌피드백을 햅틱 암마스터를 통해 사용자에게 제시한다. 또한, 단추를 누르거나 조향을 하는 등의 행동은 햅틱 암마스터의 동작을 통해서 인체모델로 전달되고, 이러한 동작을 그래픽 렌더링 서버를 통해 사용자에게 보여줄 수 있다.

5.1 좌표계의 동기화

인체모델과의 연동을 위해서 좌표계를 통일시켜주는 작업이 필요하다. 즉, 인체모델과 햅틱 암마스터는 서로 다른 좌표계를 기준으로 기술되므로, 이를 그래픽 렌더링 서버에서 사용되는 기준 좌표계로 변환하여야 한다. 디바이스 서버를 통해 햅틱 암마스터의 좌표계가

기준 좌표계로 변환되어 그래픽 렌더링 서버로 전달되고, 가상현실에서의 물체의 좌표는 햅틱 암마스터에서 이용될 수 있도록 디바이스 서버를 통해 변환되어 전달된다. 또한, 햅틱 암마스터의 경우에는 대부분의 3자유도 햅틱장치와는 달리 5자유도로 구성되므로 작용점에 대한 회전성분을 추가적으로 고려하는 것이 필요하다. 그림 5는 이에 의해 동기화된 인체모델을 가시화한 것이다.



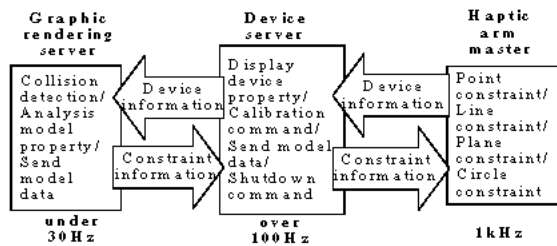
[그림 5] Human body model inside car interior.

5.2 낮은 갱신율

그래픽 렌더링 서버의 경우, 약 30Hz의 속도로 사용자와 디바이스 서버에 정보를 전달하고 있다. 그러나 사용자가 직접 착용하고 있는 햅틱 암마스터의 경우는 역구동성에 의해 예측 불가능한 입력이 사용자로부터 들어올 수 있다. 이러한 경우에 다음 갱신주기 동안 올바른 힌피드백의 반영이 불가능해지며 햅틱장치가 불안정해진다.[6] 예를 들어, 가상환경에서 변속장치를 조작하는 경우를 생각해 보자. 햅틱 암마스터가 그래픽 렌더링 서버로부터 받는 힌피드백의 정보는 약 30msec정도의 시간 동안에는 전혀 갱신되지 않는다. 이 시간 동안 사용자는 물체의 정해진 구속조건을 만족시키지 않은 채, 햅틱 암마스터의 작용점이 있어야 하는 위치를 크게 벗어나 수 있으며, 다음 갱신에시 이에 대한 상황이 반영되어 사용자에게 큰 힘으로 원하는 위치로 되돌리려 하게 된다. 이러한 이유로 햅틱 암마스터를 이용하여 정해진 궤적을 추종하도록 할 경우, 햅틱장치 내부

에서 이러한 제어를 추종할 수 있도록 DSP를 이용하여 높은 갱신률로 제어를 수행할 필요성이 있다. 이러한 제어를 통해 시간지연에 의해 발생할 수 있는 성능저하를 최소화할 수 있다.

또한, 제어를 좀더 효과적으로 수행하기 위해서, 그림 6와 같이 그래픽 렌더링 서버로부터 들어오는 정보를 각 가상물체의 원형(primitive)에 해당하는 점, 원, 선, 평면 등으로 변경하여 전달하도록 하였다. 이러한 원형으로 물체를 정의한 이유는 모든 모델링 데이터를 DSP내부에서 처리할 경우, 오히려 DSP상에서 처리량이 증가하여 빠른 갱신율을 얻을 수 없기 때문이며, 이러한 원형만을 정의하여도 모든 물체를 구속을 처리하는 데 어려움이 없기 때문이다. 이러한 처리를 통해 그림 7과 같이 조향휠은 가상원 상에서만 움직이도록 구속하고, 기어 변속은 가상선 상에서만 움직이도록 구속하고, 이를 햅틱 암마스터를 통해 표현하는 것이 가능하였다.



[그림 6] Update rate of virtual environment by using constraint model

CAVE내에서 이러한 햅틱드백을 표현하기 위한 식은 다음과 같이 표현된다.

$$F = F_{control} + F_{model} \quad (1)$$

여기서 $F_{control}$ 은 햅틱장치를 구속조건을 만족하는 위치로 보내기 위한 힘이며, F_{model} 은 마찰 등 가상물체의 성질을 나타내기 위한 힘을 나타낸다.

제어를 위한 힘 $F_{control}$ 은 햅틱장치가 있어야 하는 원하는 구속점인 c 와 햅틱기기 작용점

의 위치인 x 에 의해 계산된다.

$$F_{control} = K_c(c - x) - B_c(\dot{c} - \dot{x}) \quad (2)$$

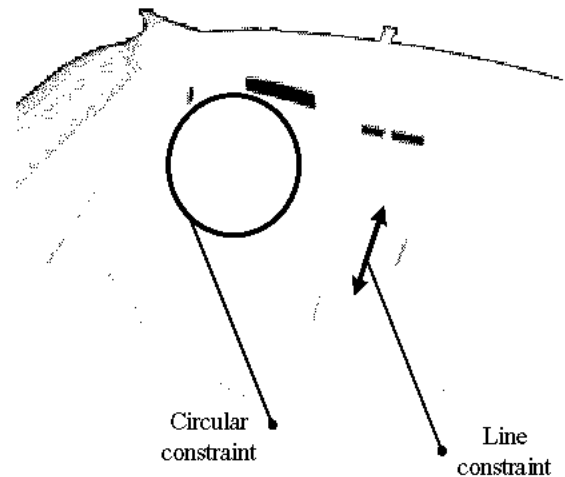
이 식에 알 수 있듯이 작용점이 구속점에서 멀어질수록 강성계수인 K_c 에 의해 큰 복원력이 작용한다. 또한, 갑자기 큰 복원력이 작용할 때의 시스템의 불안정성이나 사용자의 불쾌감을 방지하기 위하여 속도 오차에 비례하는 감쇠계수 B_c 을 첨가하였다.

또한, 본 실험에서 조향휠의 무게감과 가벼움, 변속장치의 단단함과 부드러움을 표현하기 위해, 햅틱장치에 이를 전달하기 위한 F_{model} 을 사용하게 되는데, 이에 대한 식은 다음과 같다.

$$F_{model} = B_w \dot{c}$$

B_w 는 물체를 조작할 경우, 물체내부의 감쇠계수를 나타내며, 물체의 속도는 햅틱 암마스터의 원하는 구속점의 속도와 같으므로 구속점의 속력인 \dot{c} 에 의해 F_{model} 값이 증가하도록 모델링하였다. $F_{control}$ 과 F_{model} 은 1kHz의 주기로 계산되어 햅틱 암마스터에서 구현된다.

이를 통해 그림 6과 같이 자동차 인테리어 모델에 적용하였다.



[그림 7] Constraint area of car model

6. 결론

사용자에게 높은 몰입감을 주는 가상환경인 CAVE에서 햅틱 암마스터를 이용하여 사용자 환경을 구축하였다. 또한 사용자에게 정확한 힘피드백을 제공하기 위해 햅틱장치내부에서 1kHz의 제어를 수행함으로써 장치의 정밀성을 높였으며, 햅틱 장치를 가상환경내에서 사용하기 위해 인체모델을 이용하여 동기화 작업을 수행하였다. 이러한 환경구축을 통해 사용자는 높은 입체감으로 가상의 사물을 인지하며, KU-HAM를 통해 물체를 조작하고 이에 따른 힘피드백을 받는 것이 가능하였다.

후기

본 연구는 감성공학 기반기술 개발 사업의 일부로 한국과학기술연구원의 지원하에 수행되었다.

참고문헌

- [1] 김종국, 박문호, 문종녀, 박홍관, 고희동, 송재복, "다면 가상현실 환경의 구축 및 설계," 한국감성과학회 추계학술대회, 2001
- [2] G. Burdea, Force and Touch feedback for Virtual Reality, A Wiley-Interscience Publishing, 1996
- [3] Y. adachi, T. kumano, K. Ogino. "Intermediate Representation for Stiff Virtual Objects," Virtual Reality Annual Internatitl Symposium. Proceedings. pp. 203-210. 1995
- [4] 빈두기, 권태용, 류동석, 정의성, 송재복, "가상환경을 위한 햅틱 암마스터의 개발," 대한기계학회 동역학/제이부분 하계학술대회 논문집, pp. 343-347, 2000
- [5] 김종국, 박창훈, 송재복, 고희동, "가상환경을 위한 힘피드백 제시기의 모듈 인터페이스 개발," 한국감성과학회 춘계학술대회, 2001
- [6] G. C. Burdea, "Haptics Issues in Virtual Environments" Computer Graphics International, Proceedings, pp. 295-302, 2001
- [7] 빈두기, 정용철, 송재복, 김용일, "팔운동감 제시기의 개발 및 능동 입피드백의 구현," 한국정밀공학회 추계학술대회논문집, pp. 68-71. 1999
- [8] 이상철, 김성진, 정윤석, 손권, "감성평가를 위한 한국인 인체모델의 개발," 한국감성과학회 추계학술대회, 2001