



저작자표시-변경금지 2.0 대한민국

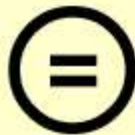
이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.
- 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

工學碩士 學位論文

가상의 주행 시뮬레이션을 위한
햅틱 시스템 개발



2007년 8월

釜慶大學校 大學院

知能機械工學專攻

朴 智 永

工學碩士 學位論文

가상의 주행 시뮬레이션을 위한 햅틱 시스템 개발



指導教授 安斗星

이 論文을 工學碩士 學位論文으로 提出함

2007年 8月

釜慶大學校 大學院

知能機械工學專攻

朴智永

朴智永의 工學碩士 學位論文을 認准함

2007年 8月



主 審 工學博士 이 일 영 印

委 員 工學博士 정 영 석 印

委 員 工學博士 안 두 성 印

가상의 주행 시뮬레이션을 위한

햅틱 시스템 개발

박 지 영

Haptics, Virtual Environment, Force Feedback,
Fuzzy, The Artificial Potential Field.

개 요

컴퓨터 화면 상에 가상현실(Virtual Reality, VR)을 구축하고 입출력 인터페이스(햅틱 디바이스)를 이용하여 인간의 감각적인 정보 조작(햅틱 렌더링)을 가능하게 하는 기술은 현재 교육, 문화, 과학, 스포츠, 오락 등 산업 전반에 걸쳐 확대되고 있다. 여기서 햅틱 렌더링과 햅틱 인터페이스라는 말이 나오는데 먼저 햅틱 렌더링이라는 말은 “The process of computing and generating forces in response to user interactions with virtual objects”라는 말로 Haptic Interface에 가상의 물체와 물리적 장치사이에서 사실적인 힘(Realistic Force)를 느끼게 하는 데 필요한 일련의 계산적인 모든 과정이다. 그리고 햅틱 인터페이스는 넓은 의미로는 가상환경과 촉각적 Interaction을 하는 시스템 전체를 의미하며, 좁은 영역의 의미로 사람에게 촉감을 전달하기 위한 물리적 장치(device)를 말하며, 통상적으로 햅틱 디바이스(Haptic Device)라고 부르기도 한다. 가상현실에서 위에 설명한 햅틱 렌더링과 인터페이스를 사용하여 역감 요소를 추가하게 되면 뇌에 의해서 처리되는 정보가 증가하고, 이런 정보의 증가는 특정 작업을 수행하는데 걸리는 시간과 오차와 특정 작업 시의 위험 등을 감소시킬 수 있

다.

본 연구는 지금까지 가상현실에서 인간의 감각 확장을 시청각에 제한하던 것을 역감의 분야까지 확대시키고자 필요한 알고리즘과 개념들을 정리하고 컴퓨터 화면상의 가상환경을 구축하고 2자유도의 햅틱 조이스틱을 개발한다. 여기에서 가상현실은 C#과 Open GL을 사용하여 주행환경을 구축하고 마이크로 컨트롤러에 의해 제어되는 햅틱 디바이스인 조이스틱으로 조종을 하고 위험상황 발생시 조이스틱에 반력을 가하는 시스템이다. 이와 같은 시스템과 알고리즘은 위험한 작업장이나 안전을 필요로 하는 조종 장치에 적용하여 그 성능을 높일 수 있다.



목 차

개 요	I
제 1 장 서 론	1
1. 1 연구 배경	1
1. 2 연구 목적	4
제 2 장 가상현실과 <i>Haptic</i>	6
2. 1 가상현실	6
2. 2 <i>Haptic</i>	9
2. 2. 1 <i>Haptic</i> 의 정의	9
2. 2. 2 <i>Haptic Interface</i>	10
2. 2. 3 <i>Haptic Rendering</i>	16
제 3 장 주행 시뮬레이션 설계	20
3. 1 가상 환경의 구성	20
3. 1. 1 윈도우 프로그램	20
3. 1. 2 그래픽 프로그램	21
3. 1. 3 가상환경	22
제 4 장 햅틱 디바이스 개발	25
4. 1 디바이스의 구성	25

4. 2 디바이스의 구조	28
제 5 장 제어 알고리즘	29
5. 1 주행 알고리즘	29
5. 2 접촉 반력 모델링	30
5. 3 기존의 알고리즘	31
5. 4 반력 생성	32
5. 4. 1 병진 운동 방향의 반력	33
5. 4. 2 회전 운동 방향의 반력	34
5. 4. 3 DC모터의 제어	37
제 6 장 결 론	40
참고 문헌	43
부 록	45

List of Figure

Fig. 1.1 가상환경의 구성요소	16
Fig. 2.1 Haptic의 구성	20
Fig. 2.2 Tactile feedback 장치	21
Fig. 2.3 Haptic Device의 기본 구성 요소	22
Fig. 2.4 Serial Type Haptic Device	22
Fig. 2.5 Parallel Type Haptic Device	23
Fig. 2.6 Exoskeleton Type Haptic Device	24
Fig. 2.7 Glove Type Haptic Device	24
Fig. 2.8 Joystick Type Haptic Device	25
Fig. 2.9 Haptic Rendering	26
Fig. 3.1 미로형태의 가상환경	31
Fig. 3.2 장애물과의 거리 표현 환경	31
Fig. 3.3 Serial 통신 부분 환경	32
Fig. 3.4 전체 가상환경	32
Fig. 4.1 기존의 조이스틱과 그 자유도	34
Fig. 4.2 자유도가 분리된 Joystick	35
Fig. 4.3 Haptic Device의 구성도	36
Fig. 4.4 Haptic Device의 실제 모습	36
Fig. 4.5 Haptic Device의 각각의 자유도	37
Fig. 5.1 Haptic Device의 인터페이스	38

Fig. 5.2 Haptic System의 전체 블록 다이어그램	39
Fig. 5.3 기존의 알고리즘의 문제점	40
Fig. 5.4 수정된 알고리즘	40
Fig. 5.5 The Artificial Potential Field의 벡터장	41
Fig. 5.6 Repulsive Potential Barrier	42
Fig. 5.7 원기둥의 repulsive potential field	43
Fig. 5.8 퍼지 입력값의 퍼지집합	45
Fig. 5.9 퍼지 출력값의 퍼지집합	45
Fig. 5.10 DC모터의 회로	46
Fig. 5.11 제어성능과 계인과의 관계	47
Fig. 5.12 계인을 찾기 위한 시뮬레이션	48
Fig. 5.13 퍼지 PID 제어	48
Fig. 6.1 전체 시스템의 시뮬레이션	49
Fig. 6.2 장애물 거리에 따른 반력의 크기	49

제 1 장 서 론

1. 1 연구 배경

우리 인류가 다른 생명체와 다른 큰 특징 중의 하나는 미디어의 사용이다. 선사 시대의 벽화와 그 후의 문자를 시작으로 초기의 미디어는 정보의 전달 및 기록에 초점이 맞춰져 있다면 현재는 인간의 감정이나 보다 현실적인 정보의 전달을 목적으로 구현되어지고 있다. 19세기까지는 문서, 그림 등 대부분 시각에 의존하는 형태였으나 20세기 들면서 축음기의 개발과 전파 기술의 발전으로 음성 또한 미디어의 전달 수단으로 급속하게 발전하였다. 현재도 시각과 청각을 통한 정보 전달은 가장 대중적인 미디어의 방식이다. (미디어 : 어떤 작용을 한쪽에서 다른쪽으로 전달하는 역할을 하는 것)

이러한 정보의 전달을 위해서는 인간과 미디어 사이에 매개체가 필요하며 이러한 도구는 인터페이스라는 용어로 정의될 수 있고, 컴퓨터의 모니터, 스피커는 가장 보편적인 인터페이스 장치라 하겠다. 이런 인터페이스는 인간의 오감에 의존하는 형태를 가질 수밖에 없다. 최근 들어 공학 기술의 발전으로 주로 시각과 청각에만 의존하던 인터페이스 기술이 시각과 청각 외의 오감인 후각과 촉각을 활용하는 기술로 진화되고 있다.

오늘날의 컴퓨터의 성능 향상에 의해 보다 복잡한 형태의 인터페이스가 가능하게 되었다. 이런 상호 작용에 있어서 가장 중요한 요소는 인터페이스의 실감화이다. 이를 위해 시각에 의존하는 모니터는 더욱 더 고해상도와 대형화의 길로 발전하고 있으며, 청각에 의존하는 음성의 경우

스테레오 음향 장치를 거쳐 입체 음향을 위한 장치가 보편화되고 있다. 여기에 더 발전하여 후각과 촉각의 실감화를 위해 가상현실이라는 새로운 기법이 개발되었다. 이 기법은 2~3차원 그래픽, 입체 음향, 냄새나 맛, 촉감, 역감 등과 같이 여러 종류의 정보를 적절히 조합하여 사용자에게 현실성을 제공하는 기술이다. 이런 의미에서 가상환경은 (그림 1)과 같이 몰입(immersion), 상호작용(interaction), 상상(imagination)의 세 가지 요소로 구성되어 작용한다고 볼 수 있다. 가상현실의 목적인 현실감 제공은 사용자가 몰입이라는 상태에 도달되도록 함으로써 달성될 수 있으며, 몰입 순간까지의 과정을 얼마나 쉽고 빠르게 이끌어 가는가가 가상현실의 기술적 정도를 대변한다 할 수 있다.

이러한 상상과 몰입의 과정은 인간의 뇌에서 이루어지는 것으로 일련의 과정을 효율적으로 진행시키기 위해서는 발전된 형태의 상호작용 도구가 필요하다. 현재의 보편화된 상호작용 수단은 모니터 화면과 스피커에 의한 시각과 청각의 인터페이스이지만, 인간이 현실에서 느끼는 지각 능력은 시/청각에만 국한되지 않고, 물리적 힘에 관한 상황도 많기 때문에, 인터페이스에 있어서 역감과 촉감을 통한 상호 작용의 효율화라는 측면에서 질 높은 가상환경 구축에 중요한 도구로 활용될 수 있으며, 게임과 의료 방면에서는 이미 보편화되고 있는 실정이다. 이외에도 역감과 촉감을 통한 인터페이스는 시각과 청각에 의한 인터페이스가 용이하지 않은 장애인들을 위한 대안적인 인터페이스로 사용될 수 있다. 그리고 앞으로의 자동차의 안전 운전 수단, 핸드폰 진동의 패턴화, 게임 인터페이스 등으로 일반인의 생활에 스며들고 있는 햅틱 인터페이스는 보다 복잡적이고 상세하며 현실에 가까운 미디어를 원하는 일반인들의 욕구를 충

족시키는 수단으로서 지속적인 발전을 이룩할 것으로 예상된다. 또한 복잡해지고 고속화되는 IT환경 상에서의 햅틱 인터페이스는 사용자에게 보다 손쉽고 빠른 Man-Machine 인터페이스로서 성장할 것이다. 특히, 게임 인터페이스 등의 엔터테인먼트 분야에서는 시장 초입 단계를 지나 가까운 시일 내에 성숙 단계에 이를 것으로 예측된다. 그러나, 여러 가지 문제로 인해 햅틱 인터페이스는 기술 개발 초기 단계 시의 예측에 비하여 시장 성숙이 늦어지고 있는 것이 현실이다. 시청각 콘텐츠가 길게는 인류의 역사와 비교될 만큼 긴 시간 동안 축적되어 왔던 것과 비교하여 촉감용 콘텐츠는 최근 들어 개발되기 시작한 점을 고려하면 당연한 결과이지만, 게임 인터페이스와 고도로 발전하고 있는 IT산업과 기계문명에서 햅틱 인터페이스의 역할이 분명한 상황에서 햅틱 인터페이스 관련 산업의 발전은 기대가 아닌 현실로 다가올 것으로 예상된다.

1. 2 연구 목적

현대의 컴퓨터 사용 인구가 급속히 확대되고 컴퓨터 관련 산업의 급속도로 발전하면서 가상 현실의 대중화를 앞당기고 있다. 햅틱 시스템은 사용자로 하여금 가상환경을 조작할 수 있게 해 주고, 그 환경의 정보를 직접 느낄 수 있도록 해주는 시스템이다. 이러한 햅틱 시스템은 의학, 군사, 오락 및 원격 제어 등의 분야에서 많은 관심을 일으키고 있다. 이런 햅틱 시스템의 구성은 가상 환경, 햅틱 디바이스, 햅틱 렌더링으로 되어 있다. 시스템 자체가 기본적으로 가상 환경을 기반으로 이론을 적용하고 실험하기 때문에 동적 모의실험 연구에 많이 사용되고 있으며 비용 면이나 안정성 면에서의 장점이 크다.

본 연구는 가상으로 주행에 관련된 현실을 구현하고 여기에서 조이스틱에 의해 움직이는 주행물체를 기반하여 물체가 주행 시에 벽과의 충돌을 감지하여 사용자에게 반력을 가함으로써 위험 상황을 피할 수 있는 시스템에 관한 것이다. 이것은 햅틱 인터페이스의 응용 분야 중에서 원격 조작 분야의 하나로 분류할 수 있겠다. 원격조작 분야에서 햅틱 인터페이스는 현실감 제공이라는 측면에서 1950년대부터 그 필요성이 부각되어 왔다. 원격조작에 있어서 원격 현실감(tele-presency)은 조작성능에 커다란 영향을 미친다. 사용자의 시각과 청각에 의존하는 카메라나 음성 정보만으로는 원격 장치에서 발생하는 상황과 조작력을 모두 다 알 수 없기 때문에, 시청각에 의한 현실감의 반영에는 한계가 있다. 이의 극복을 위해 힘정보 피드백이 가능한 햅틱 인터페이스의 활용은 원격조작에 있어서 필수 기술 요소가 되었다.

본 논문에 적용되는 것은, 가상환경에서의 상황을 조이스틱에 표현

하는 부분이다. 지금까지의 조종에 사용되는 조이스틱과 같은 디바이스들은 모두 사용자에게 의한 입력만 받아서 대상물을 제어하는 방식이었다. 이러한 형태의 디바이스는 제어 중 예측하지 못하는 상황이나 위험 상황 발생, 작업의 난위도 면에서 어떠한 도움도 줄 수가 없었다. 그러나 조이스틱에 상황에 맞는 역감을 구현함으로써 위의 문제점들을 개선할 수 있다. 본 연구에서는 가상의 환경에 의한 실험이지만, 이러한 시스템은 가상환경을 벗어나 원격지의 매니퓰레이터나 안전을 요구하는 모바일 장치의 제어에 적용하여 그 성능을 높일 수 있다.



제 2 장 가상현실과 *Haptic*

2. 1 가상 현실

가상현실(Virtual Reality)라는 용어는 인공현실(Artificial Reality)라고 말하기도 하는데 1989년 Jaron Lanier(VPL 연구소, 미국)에서 처음 사용되었으며, Steve Aukstsklines와 David Blatner는 "가상현실이라는 것은 인간이 컴퓨터에서 생성하는 복잡한 데이터를 표현하고, 듣고, 느끼는 상호작용"이라고 정의했다. 가상현실 시스템은 상상의 세계를 현실과 같이 만들고, 인체의 감각기관이 인위적으로 창조된 세계에 몰입하는 것으로 자기 자신이 마치 그 장소에 있는 것처럼 느끼는 가상공간의 세계이며, 이러한 가상공간은 체험자가 직접 조작이 가능하고, 공간내의 모든 것을 상호 작용할 수 있어야 한다. 다시 말하면, 실 환경과 유사하게 만든 모델 내에 들어가서 시각, 청각, 촉각 등을 이용해 그 내에 정의된 세계를 체험하고 정보를 교환하는 것이 가상현실이다.

가상현실의 세계에는 존재하는 물체와 상호작용을 할 때 인간은 움직임에 대한 저항감, 무게, 그리고 압력 등을 체험하게 된다. 따라서 가상현실의 세계는 "보이는 물체"와 "느끼는 물체"의 두 요소가 필요하다. 현재의 대부분은 시각계에 의존하고 있지만 본 연구를 기반으로 시각 뿐만이 아닌 역감을 느낌으로써 가상현실을 보다 실감나게 경험하는 것 등이 가능하다. 이런 의미에서 가상환경은 아래 그림과 같이 immersion(몰입), imagination(상상), interaction(상호작용)의 세 가지 요소로 구성되어 작용한다. 가상환경의 목적인 사용자에게 현실감 제공은 사용자가 몰입이라는

상태에 도달되도록 함으로써 달성될 수 있으며, 몰입 순간까지의 과정을 얼마나 쉽고 빠르게 이끌어 가는 것이 가상현실의 기술적 정도를 나타낸다고 할 수 있다. 그림에서 보듯이 상상과 몰입은 인간의 뇌에서 이루어지는 것으로 이러한 일련의 과정을 효율적으로 진행시키기 위해서는 발전된 형태의 상호작용 도구가 필요하게 된다. 현재의 보편적인 수단은 시청각 인터페이스이지만 인간이 현실에서 느끼는 지각 능력은 시청각에만 국한되지 않고, 물리적인 힘이 관여되는 상황이 많기 때문에 햅틱 인터페이스는 촉각과 힘을 통한 상호 작용의 효율화라는 측면에서 질 높은 가상환경 구축에 중요한 도구로 활용될 수 있으며, 이미 게임 등의 엔터테인먼트 산업 분야에서는 이미 보편화되고 있는 단계이다. 또한 시청각 인터페이스가 용이하지 않은 사용자(시/청각 장애인 등)를 위한 대안적 인터페이스로 사용될 수도 있다.

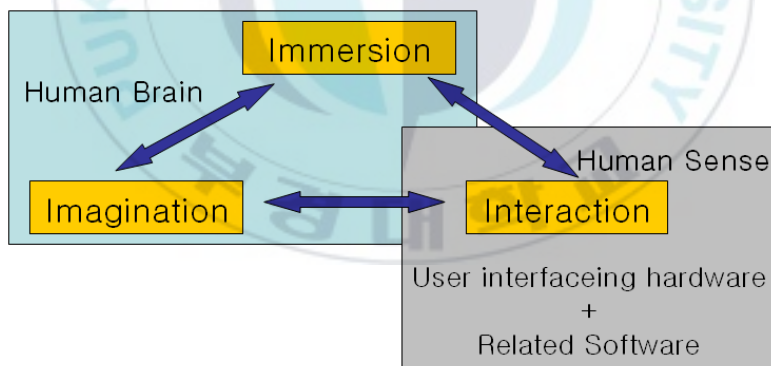


Fig. 1.1 가상환경의 구성요소

1970년대 후반에 컴퓨터 세계에 "Virtual"라고 하는 용어가 대중화되었다. 이러한 가상현실에 대해 동경대학 교수는 "Virtual Reality"의 Virtual은 가상이나 허구로 유사하게 표현할 수 있지만 이것은 명확하게 다르고 주장하였다. Virtual은 허리티지(Heritage) 사전에 "Existing in essence or

effect though not though not in actual fact or form:라고 정의돼있다. 결국 "눈에 보이는 물체는 실제 물체는 아니지만, 본질적인 효과로 현실에 존재하는 원래의 물체와 같은 것"으로 되고 이것은 그대로 가상현실의 또 다른 정의고, 인간이 인식하는 현실세계와 인간의 감각기관을 속여 가상세계에 있는 것처럼 느끼게 하는 것이 가상현실의 목표이다.



2. 2 Haptic

2. 2. 1 Haptic의 정의

햅틱(Haptic)'이라는 단어는 그리스어로 '만지다'라는 의미의 형용사 'haptesthai'에서 유래되었으며, 햅틱 감각은 손을 사용하여 느끼는 모든 지각을 의미하는 단어로 정의되어 졌으나, 최근에는 인체의 모든 촉감 기관을 사용하여 느끼는 지각으로 의미가 넓혀지고 있다. 컴퓨터 촉각기술이라고도 한다.

기존의 컴퓨터 기술은 인간과 컴퓨터가 정보를 주고받는 데 시청각 정보가 주로 이용되었다. 그러나 사용자는 가상현실을 통해 더욱 구체적이고 실감나는 정보를 원하게 되고, 주의 환경과 상호작용을 쉽고 정밀하게 해주는 것을 충족시키기 위해 개발된 것이 햅틱 기술이다.

햅틱 인터페이스는 인간의 감각을 활용하는 인터페이스로 정의될 수 있으며, 촉감이라는 새로운 미디어의 출현과 사용자 인터페이스의 실감화라는 부분에서 큰 역할을 할 수 있다. 인간의 햅틱 시스템은 주위 환경과의 상호 작용을 쉽고 정밀하게 해주는 것으로 일상생활에서 운전을 하거나 글을 쓰는 등의 햅틱 감각이 없으면 매우 불편한 작업이 많이 있다.

이런 햅틱에 관한 연구는 물리적 장치를 이용하여 사람이 직접적인 접촉이 없이도 촉각 정보를 전달하는 방법에 관한 전반적인 연구 분야로써 사람에게 원격지에 있는 물체의 물리적 특성을 전달하는 Teleoperation 혹은 Telepresence에 관한 연구로부터 시작되었다.

2. 2. 2 *Haptic Interface*

햅틱 인터페이스는 기본적으로 원격조작(teleoperation)에서 그 기술적 시작이 이루어 졌다. 원격조작은 인간이 접근하기 어려운 핵시설 내부, 우주, 해저 등의 위해 환경 등에서 기계를 조작하기 위하여 기술 개발이 시작되었으며, 원격조작 시스템은 사용자에게 의해서 조작되어지는 슬레이브 장치(slave device)와 사용자의 조작 입력이 가해지는 마스터 장치(master device)로 구성된다. 여기서 마스터 장치가 햅틱 인터페이스에 해당되기 때문에 많은 사람들이 햅틱 인터페이스의 근원을 원격조작 시스템으로 간주하고 있다. 최초의 원격조작 시스템은 기구적 링크로만 연결된 형태를 가졌으며, 이로 인해 마스터 장치와 슬레이브 장치는 아주 가까운 위치에 설치될 수밖에 없었고, 원격지의 상황에 따른 촉감도 사용자에게 피드백 시키지 못했다.

그러나 현재의 햅틱 인터페이스는 인간의 햅틱 감각을 활용하는 인터페이스로 정의될 수 있으며, 영상 및 음성 등 시청각을 이용하는 모니터, 스피커 등과 구분될 수 있다. 그리고 인간에게 자극을 전달하고, 인간의 운동(조작위치)정보를 감지하는 양방향성 구조를 기본적으로 채용하고 있으며, 활용도에 따라 후자의 운동정보 감지 장치가 없는 단방향 햅틱 디스플레이 형태로 제공되기도 한다. 이러한 햅틱 인터페이스의 궁극적인 목적은 모델링 되어있는 가상 환경 혹은 실제 환경의 물리적 특성을 사용자가 Haptic Device를 통하여 똑같이 느끼게 하는 것이다. 따라서 햅틱 인터페이스는 촉감이라는 새로운 미디어의 출현과 사용자 인터페이스의 실감화라는 부분에서 큰 역할을 할 수 있다.

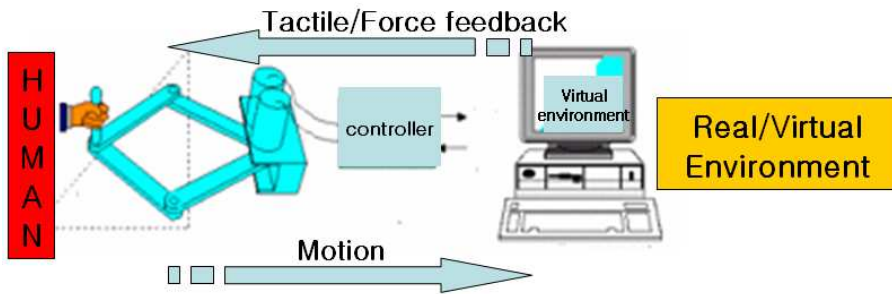


Fig. 2.1 Haptic의 구성

햅틱 인터페이스는 Haptic Device라고도 불리고 사람들에게 촉감을 전달하는 물리적인 장치를 말하며, 더 넓은 의미로 사용하여 가상의 환경을 촉감 전달을 통해서 느끼게 하는 시스템 전체를 가리키기도 한다.

햅틱 인터페이스는 사용자에게 전달되는 촉감의 종류에 따라 Tactile feedback과 Force feedback 인터페이스로 나눌 수 있다.

2. 2. 2. 1 Tactile feedback(질감구현장치)

질감 구현 장치는 표면의 거칠기나 온도, 그리고 근감각으로 알기 어려운 작은 모양 등을 사람에게 전달하는 인터페이스이다. 이 장치는 대부분 위치정보의 피드백이 없는 단방향형 햅틱 디스플레이로 제작 사용되며, 최근에는 질감 외에 온도 정보도 제공하는 햅틱 인터페이스가 개발되고 있으며 Tactile feedback를 크게 나누면 Texture feedback와 Thermal feedback의 두 가지로 구분할 수 있다.

먼저 Texture feedback에 대하여 알아보면, 사람이 피부를 통하여 Texture를 인식하는 과정은 물체표면의 Micro Shape, 피부에서의 압력 분포, 촉감 인지를 위해 손가락 등으로 표면을 문지르는 동안 인식되는 진

동과 미끄러지는 느낌(Slip=Stretch), 마찰력 등의 요소를 복합적으로 받아들이면서 촉감을 인지하게 된다. 그러므로 Tactile feedback은 언급된 물리량들을 모두 구현할 수 있어야 한다.



Fig. 2.2 Tactile feedback 장치

두 번째로 Thermal feedback에 대하여 알아보면, 온감은 질감을 인식하는데 있어서 매우 큰 영향을 미치는 요소이다. 또 같은 texture를 가진 물질이라고 할지라도 사람이 만질 때 열전도도가 다르기 때문에 사람은 서로 다른 물질임을 금세 구분해 낼 수 있다. 그러므로 tactile feedback 연구에서 거의 다루어지지 않는 영역이지만 반드시 연구해야 하는 영역이라고 할 수 있다.

2. 2. 2. 2 Kinesthetic Force feedback (반력생성)

반력생성은 인간과 물체사이의 작용력을 손가락이나 팔의 관절 등 사람의 근감각을 통해 표현하는 인터페이스로 일반적으로 아래 그림과 같은 구성을 가진다. 반력생성장치는 사용자에게 힘을 통하여 물체의 크기나 모양, 변형 정도 등의 정보를 전달하는 인터페이스이다. 현재 개발

되어있는 햅틱 디바이스를 기구적 구조와 착용 형태에 따라서 다음과 같이 분류하여 설명할 수 있다.



Fig. 2.3 Haptic Device의 기본 구성 요소

기구적 구조에 따라 'Serial Type Device'와 'Parallel Type Device'로 나눌 수 있는데 먼저 'Serial Type Device'는 기구적으로 직렬형 링크 구조를 가진 장치로 큰 힘을 발생시키기 어려운 대신에 운동 범위가 넓다는 장점이 있다.



Fig. 2.4 Serial Type Haptic Device

Serial Type과는 다른 ‘Parallel Type Device’는 기구적으로 병렬형 링크 구조를 가진 장치로 운동 범위가 좁은 대신 큰 힘을 발생시킬 수 있는 장점이 있다.



Fig. 2.5 Parallel Type Haptic Device

그리고 사용자의 착용형태에 따라 ‘Exoskeleton Type Device’와 ‘Glove Type Device’, ‘Joystic Type Device’로 나눌 수 있다.

먼저 첫 번째로 ‘Exoskelton Type Device’는 기구적으로 사람의 골격을 흉내 내어 만들어졌으며 사용자의 팔/다리 등에 착용하여 외골격(Exoskeleton)과 같은 방향의 힘을 만들어 주는 장치로 사용자의 팔/다리의 관절에 직접 힘을 가함으로써 Device를 착용한 상태에서 가상의 물체를 만지거나 가상의 행위를 하는 느낌을 느낄 수 있게 하는 장치이다.



Fig. 2.6 Exoskelton Type Haptic Device

두 번째로 ‘Glove Type Device’는 사람의 손의 기구학적 형상을 본따 만든 장갑과 같은 형태로 사용자의 손에 힘과 같은 자극을 주는 장치이다.



Fig. 2.7 Glove Type Haptic Device

마지막으로 ‘Joystick Type Device’는 주로 게임이나 혹은 가상의 기계를 조종하는 시뮬레이터에 많이 쓰이는 장치로써 조이스틱과 같은 모양을 가지고 있다. 위의 두 가지 형태의 디바이스보다 조이스틱 타입은 제작하기가 상대적으로 쉽고, 매니플레이터나 조행 물체의 조종에 적합한 형태이다. 그리고 조작 방법도 쉽고 간단하여 남녀노소, 장애 / 비장애를

가리지 않고 범용적으로 적용가능한 장점이 있다. 예를 들면 요즘 유행하고 있는 컴퓨터 게임기의 조종 장치로 조이스틱을 가지고 많은 어린이들이 게임을 즐기고 있고, 장애인을 위해 만들어진 전동휠체어의 조종 장치 역시 조이스틱 타입의 장치로 장애인들이 사용하는데 아무런 문제가 없다.



Fig. 2.8 Joystick Type Haptic Device

2. 2. 3 *Haptic Rendering*

Haptic Rendering이란 1995년 MIT AI연구실의 Salisbury가 처음 제안한 용어로“The process of computing and generating forces in response to user interactions with virtual objects”라는 말로 정의가 된다. 즉 Haptic Rendering은 Haptic Interface(Device)에서 가상의 물체와 물리적 장치사이에서 사실적인 힘(Realistic Force)를 느끼게 하는 데 필요한 일련의 계산적인 모든 과정을 가리킨다. 예를 들어서 그림을 보면 사용자는 물리적 장치(Haptic Device)를 움직이겠지만 가상의 환경에서는 물리적 장치에 해당하

는 Haptic Handle이 움직이면서 주전자에 부딪히게 된다. 이때 주전자의 물리적 성질과 함께 어느 방향에서 어떻게 부딪히느냐에 따라서 변하는 Haptic Handle에서의 힘을 정해줘야만 한다. 또한 주전자가 고정되어 있지 않고 움직일 경우 주전자의 동역학(Dynamics)까지 고려해주어야 한다. 이때 어떤 polygon에 어느 순간에 어떻게 부딪힐 때 힘이 얼마나 될지, handle에서는 force이외에 torque는 없는지, 주전자의 dynamics는 어떻게 정해야 하는지, 주전자 표면의 거칠기는 어떨지, 혹시 Haptic Device자체의 관성 때문에 문제가 되는 않을는지 등의 고려하는 모든 과정을 일컬어서 Haptic Rendering이라고 한다.

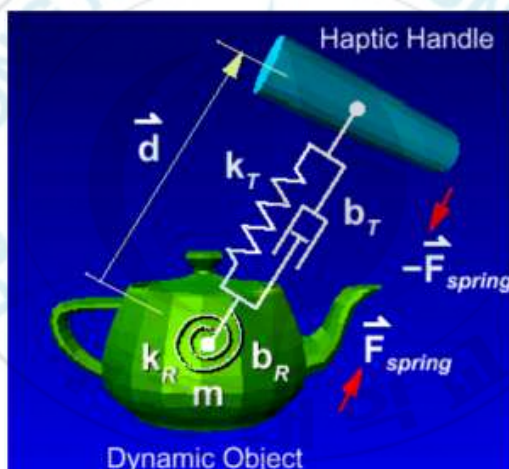


Fig. 2.9 Haptic Rendering

Rendering Haptic Elements는 크게는 물체의 모양과 굳기, 변형 정도를 표현하는 접촉 반력 모델링 (Contact Modeling), 거칠기나 재질을 나타내는 표면 성질 모델링 (Texture Modeling), 가상의 물체가 표면 데이터 뿐 아니라 내부까지 데이터가 있는 볼륨 렌더링 된 물체와의 인터랙션 할 때 주로 고려되는 햅틱 볼륨 렌더링(Haptic Volume Rendering)으로 나눌

수 있다.

본 연구에 중시되는 접촉 반력 모델링에 대하여 알아보면,

접촉 반력 모델링은 비 접촉시의 자유로운 운동, 접촉시의 물체의 균기, 접촉면의 기계적 성질, 물체의 변형, 충돌 감지, 물체의 외형 등을 표현함으로써 사용자의 손에 사실적인 힘을 전달하는 것을 목적으로 한다. 그 중 몇 가지로 나누어서 보면,

첫 번째, Free space moment로 이것은 아무 것도 없는 환경에서 아무런 힘도 느끼지 않아야 한다는 점이다. 가상 환경 내에서의 인터페이스는 사용자가 햅틱 디바이스에 직접 닿은 채로 이루어지기 때문에 아무 것도 없는 환경에서는 아무런 힘도 느끼지 않아야 하지만 디바이스 자체가 가지는 마찰이나 관성 등을 사용자가 느낄 수밖에 없다. 그러므로 디바이스를 설계할 때 이 부분을 고려하였다.

두 번째로, Contact Transient란 물체에 접촉한 후 접촉한 사실을 얼마나 빨리 계산하여 사용자에게 피드백 시켜 줄 수 있는 가이다. 사람이 물체에 대한 촉감을 느끼는데 정보가 전달되는 시간은 보통 5msec정도이다. 그러므로 Haptic Rendering에서 피드백 되어야 하는 힘의 계산이 update되는데 걸리는 시간이 5msec이내여야만 한다. 그래야 사람이 물체에 닿은 느낌을 시간 지연 없이 느낄 수 있게 된다. 그러나 만약 그렇지 않다면 사용자가 실제로 느껴야 되는 가상 환경은 이질감으로 사용자에게 다가갈 것이다. 보통의 경우 최소한 500Hz이상의 속도로 힘의 값의 변화를 주어야 사람이 힘이 끊어지는 느낌이 없이 연속적인 힘을 자연스럽게 느낀다고 알려져 있다.

세 번째로, Contact Persistence란 가상 환경 내에서 디바이스가 물체에 Contact를 한 이후에 접촉한 느낌이 계속 유지 되어야 하는 것으로 보통의 경우 Hardware를 통해서 발생하는 힘이 일정 시간 동안 유지되기란 쉽지 않다. 이 문제는 현재 Haptic Device의 Actuator의 출력을 매우 높은 것을 사용하여 해결할 수 있으므로 본 논문에서 제작된 디바이스에 최대한 맞출 수 있는 모터를 사용하였다.



제 3 장 주행 시뮬레이션

3. 1 가상현실의 구성

3. 1. 1 윈도우 프로그램

.NET에서는 C#, J#, Visual Basic.NET, ASP.NET, Visual C++.NET 등의 다양한 언어가 지원되고 있다. 그 중에 닷넷 환경의 최적화된 언어가 바로 C#이다. 실제로 닷넷 프레임워크와 상당수가 C#으로 구현되어 있다. C# 언어는 기존의 C++의 객체지향적인 특징을 기본 모델로 삼고 있다.

C#에서는 MFC, VB와 마찬가지로 폼을 이용하여 UI를 구성할 경우 폼 디자이너를 사용하여 쉽게 UI를 구성할 수 있다. 예전의 Win32 프로그램을 사용하여 어렵게 만들었던 윈도우 폼과는 다르게 쉽고 간단하게 만들 수 있다.

윈도우 폼은 GUI에 기반을 둔 클라이언트 애플리케이션이다. 윈도우 폼은 닷넷 환경에서의 모든 애플리케이션과 마찬가지로 닷넷 프레임워크(CLR)가 지원되는 환경이라면 어떤 언어에서도 사용 가능하다. 이러한 윈도우 폼은 Simple and Performance 라는 주요한 장점이 있다. 그리고 System.

Windows 네임스페이스 안에 포함되어 있는 라이브러리들은 윈도우 컨트롤과 그밖에 GUI 객체들을 위한 객체들을 포함해서 약 400개 이상의 라이브러리 클래스를 포함하고 있다. 다시 말해서 .NET 라이브러리는 MFC의 어느 라이브러리 보다 풍부하다고 할 수 있다.

3. 1. 2 그래픽 프로그램

컴퓨터 화면상의 가상 환경 구성을 위하여 그래픽 구현을 위한 OpenGL 라이브러리를 사용하였다. OpenGL은 실리콘 그래픽스에서 만든 3차원 그래픽 라이브러리이다. OpenGL은 개방형 구조를 취하고 있어서 OpenGL이 설치된 플랫폼에서는 자유롭게 포팅 할 수 있고, 게임 등의 범용 3D API로 제작된 것이 아니라 자사의 그래픽 시스템에서의 동작을 위해서 개발된 것이기 때문에 속도 등의 면에서 불리한 점이 많다. 그러나 어떤 시스템에서도 안정적인 포팅이 가능하다는 장점으로 많은 개발자들에게 인정받고 있다.

OpenGL의 중요한 특성 중 하나는 state머신이라는 것이다, 이는 특정 함수가 환경을 변경시키면 이후 실행될 모든 함수는 그 영향을 받게 된다는 것이다. 이는 Direct3D와 같이 개체로 이루어진 라이브러리와 대조적이다. 예를 들어 어떤 함수가 좌표축을 변경했다면 다음에 생성되는 오브젝트는 변경된 좌표에 맞춰서 생성된다. 또 어떤 함수가 색깔을 바꾸었다면 다음에 생성되는 오브젝트는 모두 바뀐 색을 띤다는 것이다.

OpenGL 라이브러리의 종류에 대해서 알아보면, 우선 가장 하부 레이어인 gl, 두번째는 glu인데 이는 gl을 좀더 편리하게 사용할 수 있도록 구현해 놓은 함수들의 모임이다. 순수한 gl만으로는 상당히 번거로운 코딩이 많기 때문이다. 마지막으로 glaux인데 이것도 역시 복잡한 코딩을 단순화시켜주는 지원함수들로 되어 있다.

3. 1. 3 가상환경

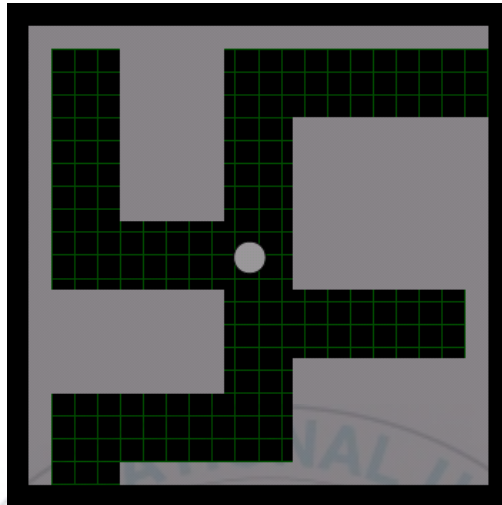


Fig. 3.1 미로형태의 가상환경

본 논문에서 사용된 주행에 관련된 가상 환경이다. 햅틱 디바이스의 제어에 의해 움직이는 가운데 부분의 원형 주행물체와 미로 형태의 가상 환경이다.

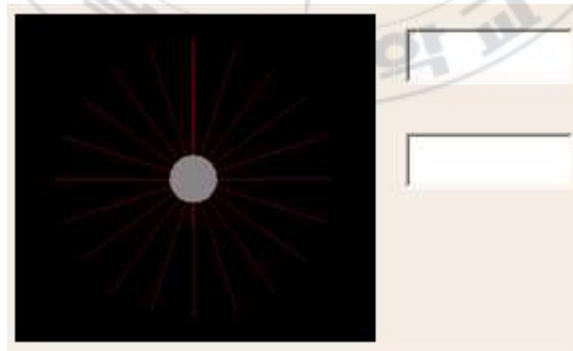


Fig. 3.2 장애물과의 거리 표현 환경

주행물체가 주행 중에 벽과의 거리를 나타내주는 창을 구성하였다.

주행물체와 가장 가까운 거리와 그 거리가 검출된 방향을 표현할 수 있다.



Fig. 3.3 Serial 통신 부분 환경

위의 창은 햅틱 디바이스와 통신 하는 부분으로 통신의 시작과 끝을 제어할 수 있으며, 통신 값들이 제대로 들어오는지 확인할 수 있는 창으로 구성하였다.

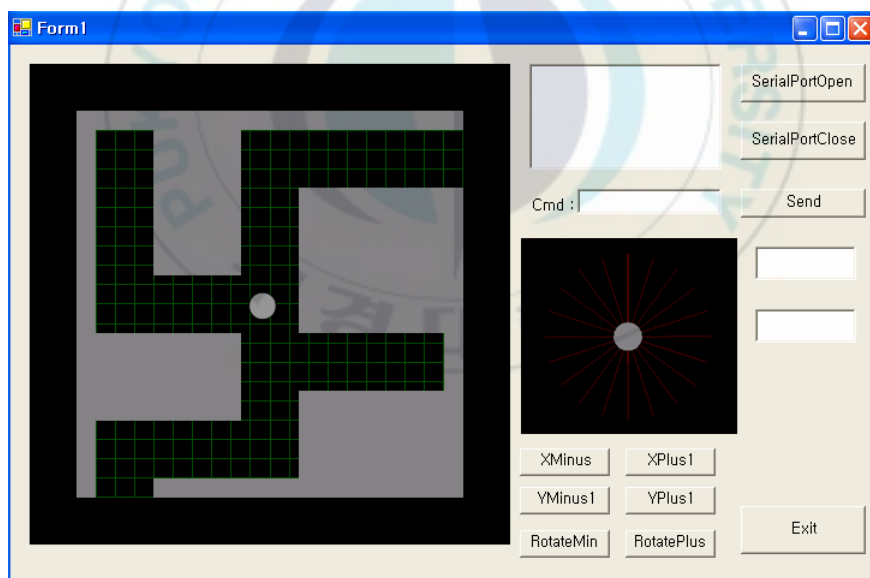


Fig. 3.4 전체 가상환경

위 그림은 위에서 설명한 부분들이 통합된 전체적인 가상환경의 구

성이다. 사용자는 컴퓨터 환경상의 위의 환경을 보고 햅틱 디바이스로 그 환경을 제어하고 서로 상호작용을 한다.



제 4 장 *Haptic Device* 개발

4. 1 디바이스의 구성

앞에서 햅틱 디바이스의 여러 가지 종류에 대하여 설명을 하였다. 남녀노소, 장애인 / 비장애인 등 모든 사람들이 쉽게 사용할 수 있고, 제작도 간편한 조이스틱 타입의 디바이스를 제작하였다.

본 논문에서 개발한 디바이스는 기존의 조이스틱과는 달리 두개의 자유도에 관련된 부분을 분리하여 제작하였다. 따라서 사용자가 조작하여야 하는 두개의 스틱과 사용자에게 반력을 생성하기 위하여 2개의 소형 DC모터 그리고 사용자의 위치를 검출하는데 사용되는 2개의 포텐쇼미터로 햅틱 디바이스를 구성하였다.

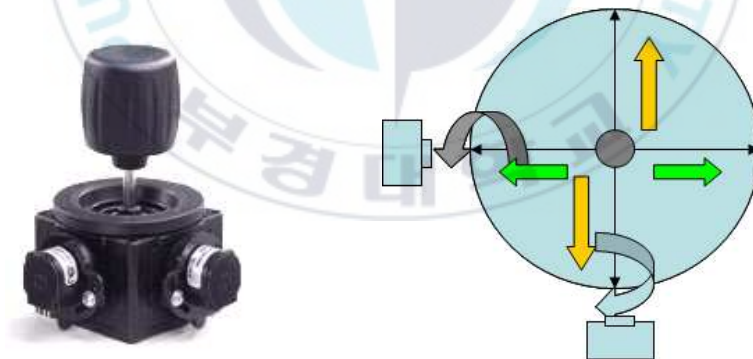


Fig. 4.1 기존의 조이스틱과 그 자유도

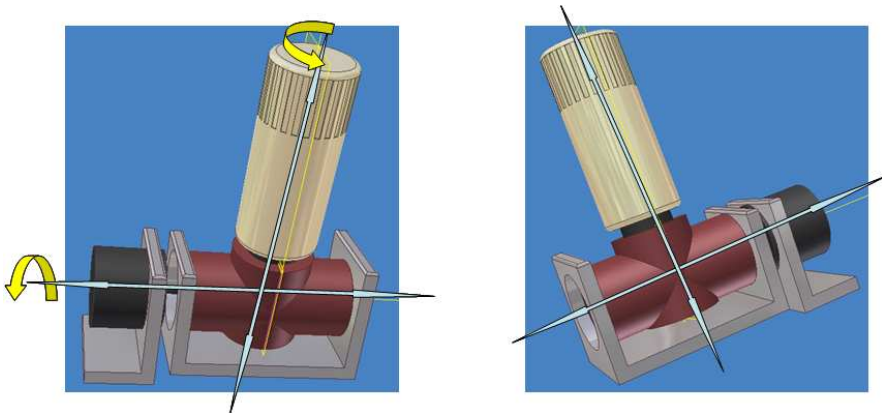


Fig. 4.2 자유도가 분리된 Joystick

위의 그림은 기존의 조이스틱과 본 논문에서 사용된 디바이스를 비교한 그림이다. 기존의 조이스틱에 비하여 각 축에 대한 자유도를 분리하여 제작하였기 때문에 주행물체의 제어에 있어 속도와 방향을 더 세밀하게 조종할 수 있다. 예를 들어 장난감 모형 자동차를 제어하는데 있어 사용되는 조종기를 보면 속도와 조향에 관련된 부분을 분리하여 사용하고 있다. 반면에 속도와 조향 부분을 동시에 조작하여 사용하는 조종기의 사용률은 저조하다.

그리고 이렇게 제작함으로써 구조의 간편함으로 제작이 용이하였다. 아래 그림은 디바이스의 구성도를 나타내는 설계도이다. 10개도 되지 않는 간단한 구성품으로 이루어져 있는 것을 볼 수가 있다. 그리고 옆의 사진은 실제 제작한 디바이스의 실물이다.

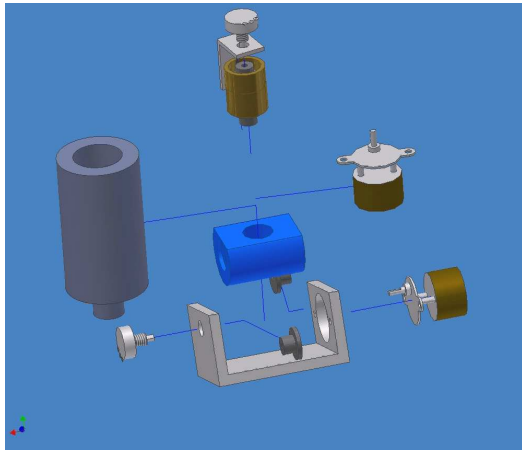


Fig. 4.3 Haptic Device의 구성도



Fig. 4.4 Haptic Device의 실제 모습

실제 디바이스의 크기는 160*60*90 이다. 맨 위 부분은 손가락의 엄지와 검지로 잡고 제어하는 형태이고 가운데 몸체 부분은 나머지 손가락으로 감싸쥐고 앞뒤로 움직이는 형태이다.

4. 2 디바이스의 구조



Fig. 4.5 Haptic Device의 각각의 자유도

위의 그림은 분리된 각 자유도를 표현한 것이다. 주행 물체의 전, 후 운동의 속도에 관련된 부분과 주행물체의 좌, 우 방향의 조향에 관련된 부분을 나타내고 있다. 병진 운동 부분은 주행물체의 속도와 관련된 부분이며 회전운동 부분은 주행물체의 회전에 관한 부분이다.

제 5 장 제어 알고리즘

5. 1 주행 알고리즘

가상 환경과 사용자 사이의 인터페이스로서 조이스틱이 사용된다. 손으로 조이스틱을 움직여 그 X, Y축의 각 방향에 따라 비례제어 하는 방식으로 방향과 속도를 구하게 된다. 입력되는 2채널의 조이스틱 신호를 가상 환경을 제어하기 위해 먼저 조이스틱의 평면 좌표계를 위의 그림과 같이 구성하였다.

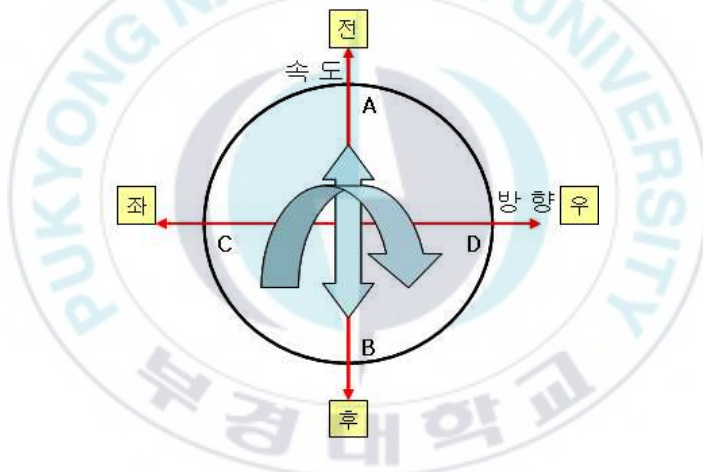


Fig. 5.1 Haptic Device의 인터페이스

조이스틱 평면에서의 좌표는 조이스틱에 부착된 포텐쇼미터에서 측정되는 아날로그 값을 디지털 값으로 변환한 후 알맞게 대응시킨 것이고, 이때 A점은 앞으로 최고 속도, B점은 뒤로 최고 속도, C점은 좌로 제자리 회전, D점은 우로 제자리 회전이다. 원점은 중립의 위치로 휠체어는 정지상태에 있게 된다.

5. 2 접촉 반력 모델링

햅틱 장치의 설계에 있어서 중요하게 고려되어야 할 사항으로는 적절한 위치 입력과 힘 반영(force reflection)의 정확성 등을 들 수 있다. 제어에 있어서 디바이스가 주변 환경과 상호 작용하는 경우(디바이스와 외부 사이의 상호작용을 무시할 수 없는 경우)에는 단순히 위치제어보다는 힘 제어를 통해 접촉력이 원하는 범위를 벗어나지 않도록 해야 한다. 아래의 블록다이어그램은 전체 알고리즘에 관한 것이다.

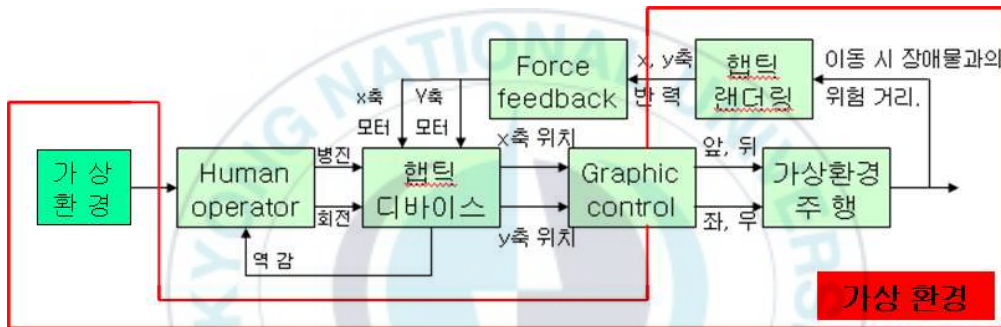


Fig. 5.2 Haptic System의 전체 블록 다이어그램

사용자가 가상환경을 보고 그 환경에 몰입하여 Haptic Device를 사용하여 제어를 한다. 이때 Haptic Device로부터 측정되어지는 신호에 의해 가상환경 내의 주행물체가 이동을 하게 된다. 이때 사용자의 부주의로 주행물체가 장애물이나 벽에 가까이 다가가게 되면 이 거리값을 기반으로 햅틱 렌더링에 의해 반력이 계산되어 진다. 햅틱 렌더링에 의해 계산되어진 반력이 Haptic Device에 피드백 되어져 사용자는 가상환경 내의 장애물이나 벽을 인식하고 위험으로부터 벗어날 수 있다.

5. 3 기존의 알고리즘

가상의 물체와 물리적 장치 사이에서 사실적인 힘을 느끼게 하는데 필요한 기존의 알고리즘은 가상환경에서의 물체의 위치와 실제 장치에서의 위치 간의 거리 차를 이용하여 계산하였다. 이 방법은 몇 가지의 오류가 있다.

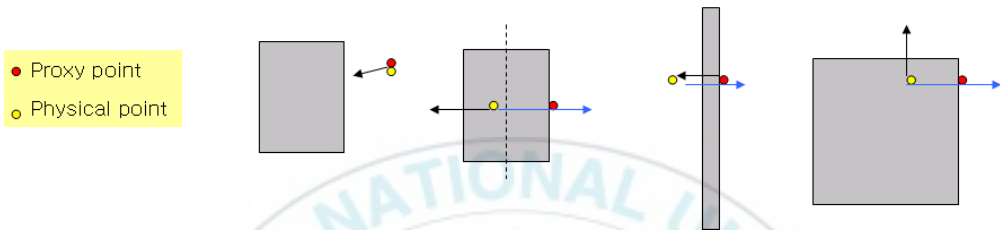


Fig. 5.3 기존의 알고리즘의 문제점

위의 그림을 보면 가상의 Proxy point와 실제의 Physical point는 가상 환경 내에서 다른 장애물과 접촉전에는 두 point가 일치한 상태로 움직이게 되나 장애물과 접촉할 경우에는, 만약 접촉 대상 물체가 얇은 판이라면 역감이 구현되기 전에 Proxy point가 물체의 표면을 관통할 수도 있고, 반대편의 표면에 가까워지면 반대 방향의 역감이 구현될 수 있다.

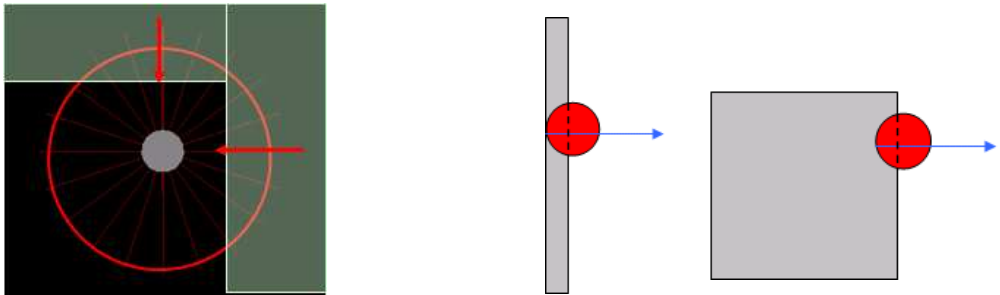


Fig. 5.4 수정된 알고리즘

따라서 이러한 오류를 보완하기 위해서 Proxy point를 단순한 점으로 설정하지 않고 위의 그림과 같이 적절한 반지름을 가진 구 형태로 설정하였다. 구 형태로 Proxy point를 사용함으로써 해서 벽을 통과한다든지, 반대 방향으로 역감이 구현되는 일은 미리 방지되어 진다. 여기서 사용되어진 구의 반지름은 각각의 사용 현실에 맞게 수정이 가능한 유연성을 가질 수 있다.

5. 4 반력 생성

5. 4. 1 병진 운동 방향의 반력

병진 운동 방향으로 반력을 생성하기 위하여 인공전위계(The Artificial Potential Field)를 적용하였다. 이는 매니퓰레이터 뿐만 아니라 모바일 로봇의 제어에도 많이 사용되는 알고리즘이다. 주행 물체는 'a field of forces' 내에서 움직이고, 전체 인공 전위계는 원하는 목표 지점(desired goal position)과 장애물의 potential energy의 합으로 나타낼 수 있다.

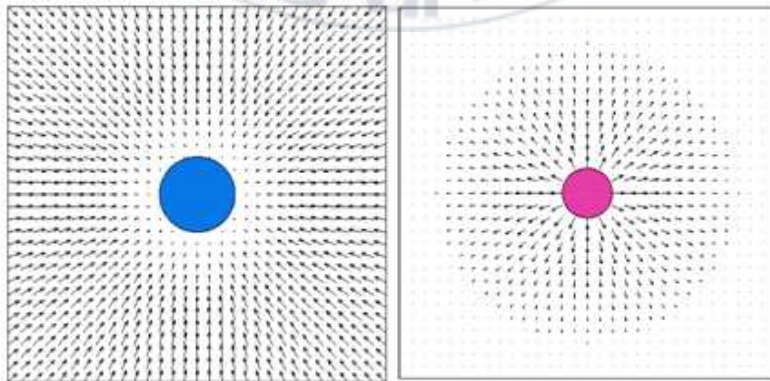


Fig. 5.5 The Artificial Potential Field의 벡터장

위의 그림은 목적지에 관한 'attractive potential field'와 장애물에 의한 발생하는 repulsive potential field'의 벡터장을 아래와 같은 수식에 의해 나타낸 것이다.

$$U_{art}(\mathbf{x}) = U_{x_d}(\mathbf{x}) + U_O(\mathbf{x})$$

$$\begin{cases} U_{x_d}(\mathbf{x}) = \frac{1}{2} k(\mathbf{x} - \mathbf{x}_d)^2 \\ U_O(\mathbf{x}) = \begin{cases} \frac{1}{2} \left(\frac{1}{\rho} - \frac{1}{\rho_0} \right)^2 & \text{if } \rho \leq \rho_0 \\ 0 & \text{if } \rho > \rho_0 \end{cases} \end{cases}$$

본 논문에서 사용한 햅틱 디바이스와 같은 경우에는 사용자가 직접 디바이스를 제어하는 타입으로 원하는 목표값에 대한 데이터가 수시로 변한다. 그러므로 'attractive potential field'는 제외하고 'repulsive potential field'만을 사용하였다.

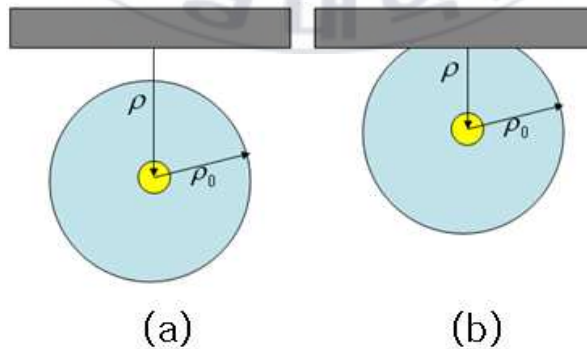


Fig. 5.6 Repulsive Potential Barrier

위 그림은 'repulsive potential field'를 도식적으로 나타낸 것이다.

그림 (a)는 주행 물체와 장애물과의 거리에 있어 안전한 영역에 있는 상태이고, (b)는 주행 물체와 장애물과의 거리가 위험 영역에 있고 햅틱 디바이스에 반력이 생성된다. 앞의 수식은 주행물 표면의 ‘potential barrier’로 표현되고 이 내부로 장애물이 들어서게 되면 계산 결과 값에 의해 반력이 생성된다.

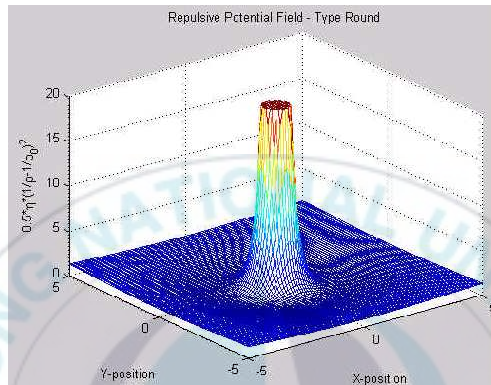


Fig. 5.7 원기둥의 repulsive potential field

위의 그림은 삼차원의 원기둥에 의한 ‘repulsive potential field’를 나타낸 것이다. 이차원 형태의 장애물 뿐만 아니라 삼차원 형태의 장애물에 의한 벡터장도 나타낼 수 있다. 이는 본 논문에서 사용되고 있는 가상환경이 2차원에 한정되어 있지만 더 나아가 삼차원에서의 장애물 회피에 관련된 부분까지 확대 적용할 수 있다.

5. 4. 2 회전 운동 방향의 반력

조향 부분의 반력은 장애물의 위치를 기반으로 한다. 이 입력값은

애매한 경우가 많다. 이런 입력값은 정확하게 좌, 우를 구분 짓기가 힘들다. 여기에 퍼지 이론을 적용하면 이 문제를 극복할 수 있다. 퍼지 이론은 언어적으로 애매한 표현을 효과적으로 처리할 수 있는 방법을 제공해주기 때문이다. ‘그렇다’ 또는 ‘아니다’로 나타내는 이치 논리가 아니라 다치논리인 것이다. 실제로 명확한 판단을 내릴 수 없는 입력의 문제, 즉 주관에 바탕을 둔 애매성을 대상으로 한다. 이런 퍼지에서 취급하는 애매함(fuzziness)은 주행물체의 이동 시 장애물에 의해 좌우를 판단해야 하는 여러 가지 상황을 고려해야 하는 상황에 적합한 제어 방법이다. 입력값으로는 주행물체 주변에 있는 장애물과의 방향과 장애물과의 거리값을 사용하였다. 그리고 출력되는 값은 반력의 방향과 크기이다. 출력값을 내기 위한 퍼지 추론 방법으로는 직접 추론법(Mamdani)을 사용하였다. 직접법의 가장 큰 특징은 후반부 변수가 퍼지수라는 것이다. 따라서 다른 추론에 비해 추론 속도가 빠른 편이다. 전반부 변수들과 후반부 변수들을 통해 관계를 구하고 규칙이 여러 개일 경우에는 각 규칙에 대한 관계를 구하고 이것들을 하나로 결합하여 최종 관계를 구하게 된다. 이렇게 구해진 관계에 입력 변수를 입력하여 얻어진 출력을 비퍼지화하여 시스템에 대한 응답을 구할 수 있다.

이 과정은 크게 4단계로 구분된다.

단계 1 : 주어진 입력에 대한 각 규칙의 전반부 적합도를 구한다.

단계 2 : 단계 1에서 구한 적합도를 기초로 각 규칙의 추론결과를 구한다.

단계 3 : 각 규칙의 추론결과로부터 최종적인 추론결과를 구한다.

단계 4 : 비퍼지화를 통해 실제 필드에 사용가능하도록 한다.

먼저 퍼지 입력값은 장애물까지의 거리와 방향이다. 이 입력값을 퍼지 집합으로 나타내 보면 아래 그림과 같다.

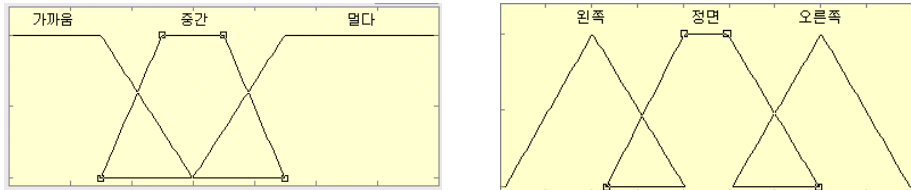


Fig. 5.8 퍼지 입력값의 퍼지집합

아래의 그림은 출력값인 반력의 방향과 크기에 관련된 퍼지 집합이다.
퍼지의 멤버 집합과 퍼지 룰에 관련된 그림이다.

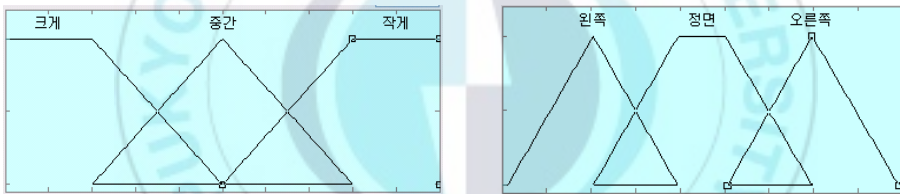


Fig. 5.9 퍼지 출력값의 퍼지집합

퍼지룰은

- if 장애물의 위치가 가까우면 then 반력의 크기는 크게.
- if 장애물의 위치가 멀면 then 반력의 크기는 작게.
- if 장애물의 위치가 중간 then 반력의 크기는 중간.
- if 장애물의 위치가 왼쪽이면 then 반력의 방향은 오른쪽.
- if 장애물의 위치가 오른쪽이면 then 반력의 방향은 왼쪽.
- if 장애물의 위치가 정면이면 then 반력의 방향은 정면.

이렇게 구성할 수 있다.

5. 4. 3 DC모터의 제어

사용자에게 반력을 가하기 위하여 디바이스에 DC모터를 장착하였다. 이 모터의 제어에 PD제어를 사용하였다. PID 제어기는 60년대부터 제어 이론과 기술이 획기적으로 개선되어 왔음에도 불구하고 아직도 산업현장에서 널리 사용되고 있고, 현재 사용 중인 전체 제어기의 약 70~90%에 달하는 것으로 보고 되고 있다. 이와 같이 지속적으로 관심을 끄는 이유는 그 구조가 단순하여 하드웨어적으로 실현이 쉽고, 동조할 파라미터(매개변수) 수가 작아 다루기가 용이하기 때문이다.

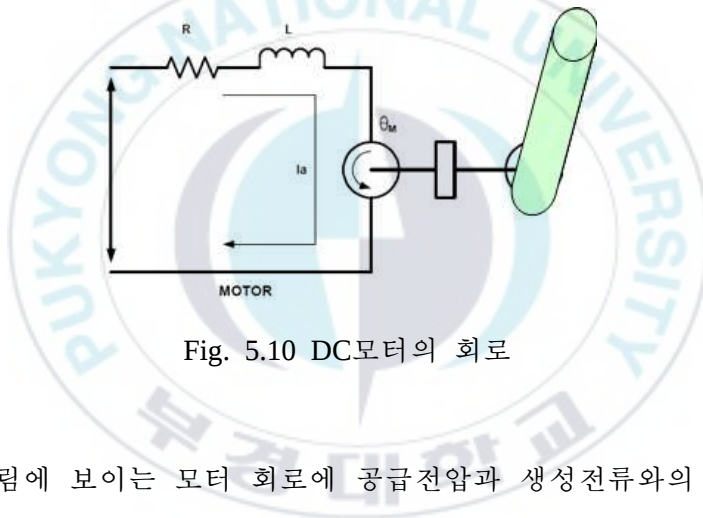


Fig. 5.10 DC모터의 회로

위 그림에 보이는 모터 회로에 공급전압과 생성전류와의 관계는 아래 수식과 같다.

$$V(t) = L \frac{di_a(t)}{dt} + Ri_a(t) + V_b(t)$$

모터의 전달함수를 유도해보면 아래의 수식으로 유도할 수 있다.

$$\frac{\theta_m(s)}{V(s)} = \frac{\frac{K_m}{R}}{s[(s \cdot J_0 + b_0) + \frac{K_b K_m}{R}]}$$

여기서 PD제어기의 입력을 아래와 같이 유도할 수 있다.

$$u(t) = K_p e(t) + K_d \dot{e}(t)$$

여기서 K_p 는 비례이득, K_d 는 미분 이득이다.

디바이스에서 가상 환경 내에서 렌더링 되어진 출력 값에 의해서 각 축의 모터에 전압 값을 조절하게 된다. 이때 알맞은 이득을 얻기 위하여 퍼지를 이용하였다. 이 방법은 일반적으로 이득 값을 얻기 위한 try & error 법이 비효율적인데 반하여 퍼지 제어기를 이용하면 제어 시스템의 성능 중 상승시간, 오버슈트, 정착시간, 정상상태오차를 그 입력으로 하여 최적의 이득을 쉽게 얻을 수 있는 장점이 있다. 이는 기존의 PID 제어기와 퍼지 제어기의 장점을 융합한 것이다. 퍼지룰은 제어에 있어 일반적인 결과를 종합해 놓은 아래의 표를 기반으로 작성하였다.

	Td	Kp	Ki
Steady divergence	Increase	Decrease	Decrease
overshoot/oscillations	Increase	Decrease	Decrease
speed of response	No change	Increase	Decrease
steady-state error	No change	Decrease	Increase

Fig. 5.11 제어성능과 게인과의 관계

아래 그림은 각각의 게인값을 찾는 시뮬레이션을 행하고 있는 그림이다. 한번 수행할 때마다 상승시간, 오버슈트, 정착시간, 정상상태오차가 생성되고 이를 위의 표를 기반으로 한 퍼지룰에 의해 이득 값이 산출되는 과정을 반복하고 특정 이득 값에 수렴하게 된다.

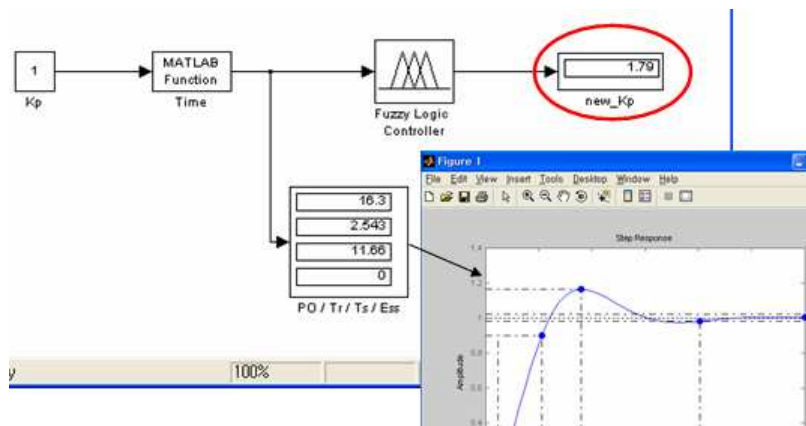
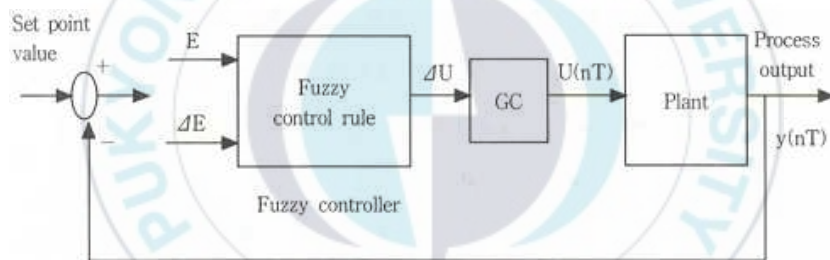


Fig. 5.12 계인을 찾기 위한 시뮬레이션

아래그림은 위의 시뮬레이션의 블록다이어그램과 제어률을 보여준다.



R^k : k 번째의 제어 구현 규칙 ($k=1, 2, \dots, N$)

N : 제어 구현 규칙의 수

E : 오차(error) 값

ΔE : 오차의 변화값

ΔU : 플랜트 제어 입력의 변화값

A, B, C : 퍼지 변수

R^k : IF E is A and ΔE is B , THEN ΔU is C

Fig. 5.13 퍼지 PID 제어

제 6 장 결 론

아래의 그림은 매트랩을 사용하여 위의 알고리즘들을 적용하여 시뮬레이션한 결과이다. 사각의 주행물체가 진행을 하면서 만나게 되는 우측 방향과 전방의 벽에 의해 반력이 생성이 되어서 그 주행 방향이 바뀌게 되는 것을 볼 수 있다. 결과적으로 시뮬레이션 상의 주행물체가 받게 되는 힘이 실제적으로 Haptic Device에 가해지게 됨으로써 사용자가 역감을 느낄 수 있다.

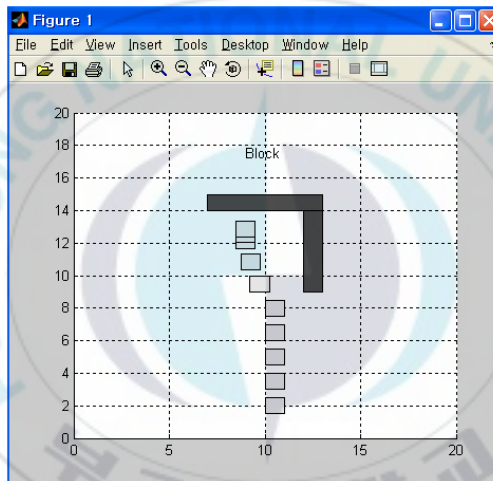


Fig. 6.1 전체 시스템의 시뮬레이션

아래의 표는 전방에 장애물이 있을 경우 그 거리값에 따른 반력의 크기를 나타내는 것이다.

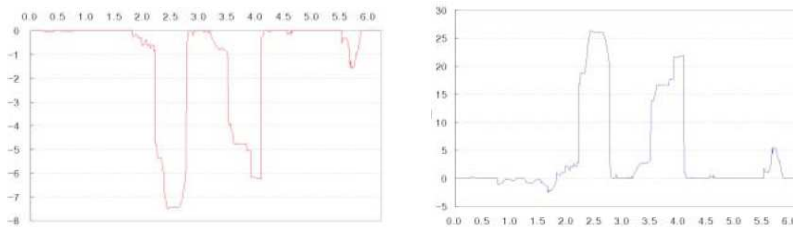


Fig. 6.2 장애물 거리에 따른 반력의 크기

본 논문에서 전체 시스템의 구성은 컴퓨터 화면상의 가상환경과 사용자 그리고 햅틱 디바이스로 구성되어 있는 햅틱 시스템이다. 햅틱 디바이스에 의해 가상환경을 제어해 보았을 때 벽과의 충돌방지에 효과적이었다. 본 논문의 햅틱 시스템은 장애물과 주행 물체 사이의 거리 값만을 이용하여 적합한 알고리즘과 디바이스에 대하여 논하였다. 이런 간단한 알고리즘 구조와 디바이스는 가상현실뿐만 아니라 실제 시스템에서 거리 값 도출을 위한 간단한 센서의 부착으로 그 시스템의 안정한 제어에 많은 도움을 줄 수 있고, 이는 기존의 장비에도 마찬가지로 센서의 부착으로 성능 향상이 가능하다.

본 논문은 가상환경에 몰입감을 줄 수 있고, 그 환경 내에서의 안전한 조작에 도움을 주는 목표에 관련된 내용이다. 간단한 구조의 햅틱 디바이스를 개발하고, 가상환경에의 능동적인 제어 알고리즘을 통하여 상호 인터랙티브한 역감 재현 인터페이스를 개발하였다. 분리된 2자유도의 햅틱 디바이스는 기존의 조이스틱에 비해 조작에 있어 향상된 성능을 보여주었고, 더 나아가서는 한 개가 아닌 두개를 사용함으로써 더 복잡한 작업에 사용될 수도 있다.

논문에서 사용된 Fuzzy와 Potential field 알고리즘에 의해 생성된 반력은 사용자의 가상환경내의 주행에 더욱 몰입감을 주었고, 장애물 회피에 안정적이었다.

이는 더 나아가 실제 시스템에 간단한 거리 추출 센서의 부착으로 장애물과의 거리 값 만이 주어진다면 그 어떤 시스템에도 적용가능한 간단한 구조의 시스템이다. 예를 들면 장애자들이 요즘 많이 사용하는 전동 휠체어에 센서를 부착하여 장애자들의 잘못된 주행 조작에 있어 안정성

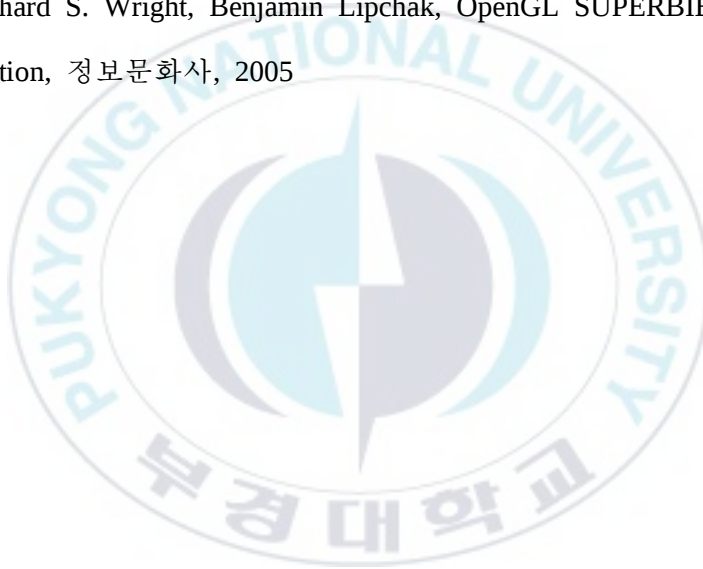
을 보장할 수 없는 상황에 조종 장치의 능동적인 대처를 유도하여 전동
휠체어의 주행에 있어 안정성을 기할 수 있다.



참고문헌

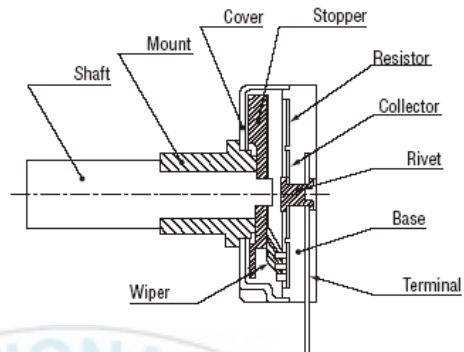
- [1] Oussama Khatib, "REAL-TIME OBSTACLE AVOIDANCE FOR MANIPULATORS AND MOBILE ROBOTS", IEEE, 1985.
- [2] Oussama Khatib, "Haptic Interaction in Virtual Environment", IEEE, 8/1997.
- [3] Oussama Khatib, "Haptically Augmented Teleoperation", IEEE, 2001.
- [4] Ming-Chang Tsai, " A LOW-COST FORCE FEEDBACK JOYSTICK AND ITS USE IN PC VIDEO GAMES", IEEE, 1995.
- [5] A. Fattouh, "Force Feedback Joystick Control of a Powered Wheelchair", IEEE, 2004.
- [6] GRIGORE C. BURDEA, "VIRTUAL REALITY TECHBOLY", WILEY-INTERSCIENCE, 2002.
- [7] Z. Shiler and S. Dubowski, "Time optimal paths and acceleration lines of robotic manipulators," Proc. of the 26th Conf. Decision and Control, pp. 98-99, July. 1987.
- [8] 정 슬, 로봇공학_MATLAB 및 SIMULINK 응용. 충남대학교출판부, 2004.

- [9] 오성권, C프로그래밍에 의한 퍼지모델 및 제어시스템, 내하출판사, 2002.
- [10] 박성준, C# & .NET programming Bible, 2nd Edition, 영진닷컴, 2004
- [11] Richard S. Wright, Benjamin Lipchak, OpenGL SUPERBIBLE 3rd Edition, 정보문화사, 2005



부 록

a. 포텐쇼미터



● Mechanical characteristics

Mechanical angle		$260^{\circ} \pm 5^{\circ}$
Rotational torque	mN·m (gf·cm) maximum	3.92 (40)
Stop strength	N·m (kgf·cm) minimum	0.196 (2)
Rotational life (cycles)		500 thousand cycles

● Environmental characteristics

Operating temp. range	°C	-10 ~ 80
-----------------------	----	----------

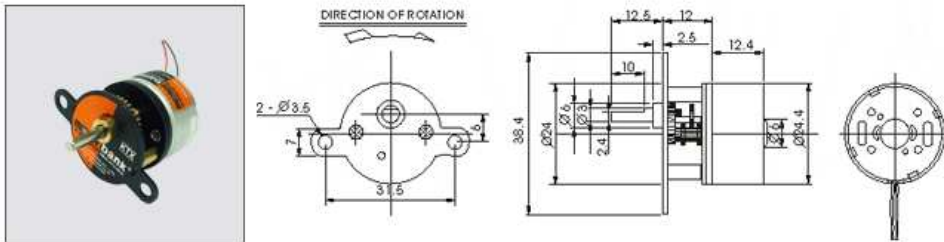
● Electrical characteristics

Nominal resistance value		1 k Ω , 2 k Ω , 5 k Ω , 10 k Ω
Resistance tolerance	%	± 20
Resolution		Essentially infinite
Independent linearity	%	± 1
Effective electrical angle		$220^{\circ} \pm 10^{\circ}$
Power rating (at 40 °C)	W	0.25
Dielectric strength		500, 1min
Insulation resistance	M Ω minimum	50 (at DC 500 V)
Temp. coefficient resistance	ppm/°C	± 400
Output smoothness		0.5 % maximum

b. DC 모터

GM-24

SPUR GEAR TYPE
HIGH QUALITY GEARED MOTOR



Weight : 50g (Approx)

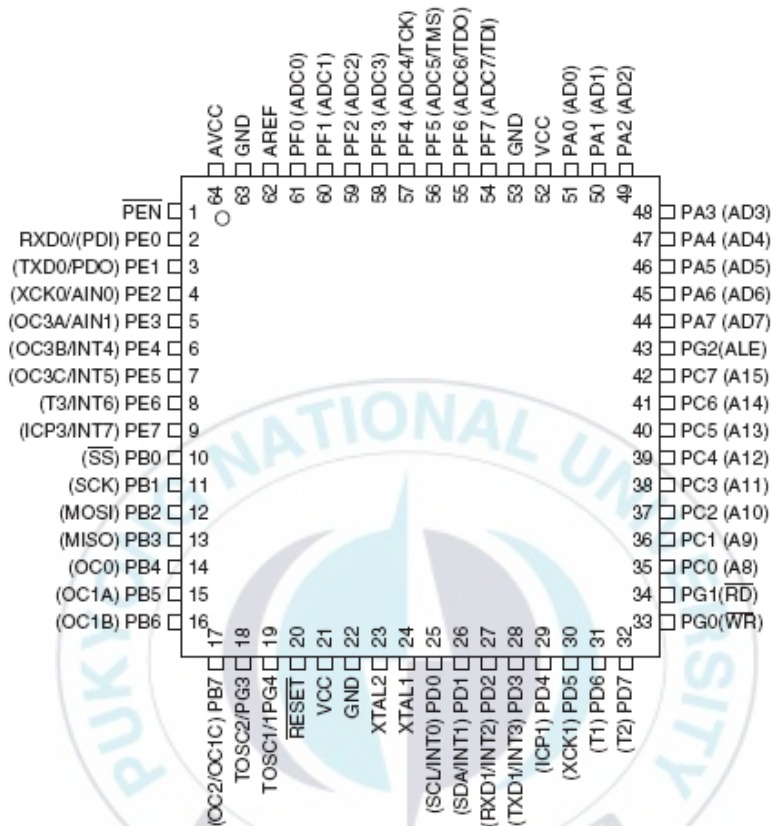
GEARED MOTOR TORQUE/SPEED

Reduction Ratio (I/I)	Rated torque		Max momentary tolerance torque		Efficiency %	Radiol play of shaft	Thrust play of shaft	L
	(gf.cm MAX)	(mN.m MAX)	(gf.cm MAX)	(mN.m MAX)				
1/18	160	16.0	1,500	150.0	75	0.02~0.1	0.1~1.0	
1/37	400	40.0	1,500	150.0	70	0.02~0.1	0.1~1.0	
1/74	660	65.0	1,500	150.0	65	0.02~0.1	0.1~1.0	

MOTOR INSTALLATION

Rated volt (V)	Rated torque (gf.cm)	Rated speed (rpm)	Rated current (mA)	Starting Torque (gf.cm)	Rated output (W)
3	160	65	150	650	0.106
6	400	130	200	900	0.534
9	650	295	300	990	1.969

c. Microcontroller (avr ATmega 128)



• **Peripheral Features**

- Two 8-bit Timer/Counters with Separate Prescalers and Compare Modes
- Two Expanded 16-bit Timer/Counters with Separate Prescaler, Compare Mode and Capture Mode
- Real Time Counter with Separate Oscillator
- Two 8-bit PWM Channels
- 6 PWM Channels with Programmable Resolution from 2 to 16 Bits
- Output Compare Modulator
- 8-channel, 10-bit ADC
 - 8 Single-ended Channels
 - 7 Differential Channels
 - 2 Differential Channels with Programmable Gain at 1x, 10x, or 200x
- Byte-oriented Two-wire Serial Interface
- Dual Programmable Serial USARTs
- Master/Slave SPI Serial Interface
- Programmable Watchdog Timer with On-chip Oscillator
- On-chip Analog Comparator

감사의 글

처음으로 대학에 들어와 공부를 시작한 것이 었그제 같은데 벌써 10여년의 세월이 흘렀습니다. 대학에 들어와 참 많은 일들을 해보았고, 고생도 많이 했으며, 배운 것들도 많았습니다. 지능 제어 연구실에 들어 온지도 5년이나 되었습니다. 그리고 졸업을 앞둔 이 시점에서 지금까지 학교생활을 하면서 도움을 주셨던 많은 분들에게 감사의 마음을 전하고자 합니다. 제일 먼저 학부, 대학원 과정동안 진정한 학문의 의미를 깨닫게 해주시고 보살피 주신 지도교수 안두성 교수님께 제일 먼저 감사드립니다. 선비의 자세로 항상 학문에 전념하시는 모습에서 많은 것을 배웠으며, 항상 교수님의 가르침을 새기면서 살아가겠습니다. 그리고 지난 5년 동안의 연구실 생활을 하면서 언제나 저의 앞뒤에서 힘이 되어준 선후배들 모두에게 감사의 인사드립니다. 마음은 그렇지 않지만 바쁘다는 핑계로 먼저 연락 한번 제대로 하지 못한 먼저 졸업하여 취직하신 선배님들과 동기들, 후배, 규종이형, 성우형, 태형이형, 재욱이, 봉익이, 창우, 웅태에게 감사의 마음 전합니다. 그리고, 아직 학교를 지키고 있는 재호형, 정수, 상욱이, 정훈이, 근현이, 민구, 성현이, 구일이, 휘찬에게도, 연구실의 정신적 지주이시며 항상 좋은 말씀을 많이 해주시고 신경을 많이 써주시는 효정 선배에게 감사를 드립니다.

대학 생활을 잘 보낼 수 있게 정신적으로 이끌어 주신 동아리 선후배, 상정선배, 일훈선배, 승우선배, 재형선배, 은경선배, 미선선배, 종만선배, 성호선배, 성희선배, 재희선배, 홍기, 정희, 윤진이, 영림이, 양이, 세민에게 모두 감사의 마음 전합니다.

학업 중이지만 언제나 바이크를 접할 수 있게 가게 열쇠까지 맡겨 주신 나이스오토바이 사장님이신 영창이형에게도 감사드립니다.

마지막으로 부산에 있다는 핑계로 집에 자주 가지 못했지만 물심양면으로 많이 지원해주신 가족들에게 진심으로 감사드립니다.

이 모든 분들의 격려와 도움이 있었기에 지금의 제가 있을 수 있었습니다. 이제 학교를 벗어나 한 회사의 소속으로 직장생활을 하고 있는 이 상황에서도 지금까지 배우고 접한 모든 것들이 정말 소중하게 느껴집니다. 이제는 더 넓은 세상에 첫발을 내밀었기에 더욱 열심히 하여 저를 아시는 모든 분들과 학교, 지능 제어 연구실을 빛낼 수 있는 인재가 되도록 노력하겠습니다.

마지막으로 저를 아는 모든 분들에게 이 논문을 바칩니다.

