

UNIVERSIDAD DE MÁLAGA
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE
INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIÓN



PROYECTO FIN DE CARRERA:

**TÉCNICAS PARA LA SIMULACIÓN DE OBJETOS
DEFORMABLES**

INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIÓN

Málaga, 2005

Francisco Romero Guillén

TÉCNICAS PARA LA SIMULACIÓN DE OBJETOS DEFORMABLES

REALIZADO POR:

Francisco Romero Guillén

DIRIGIDO POR:

Arcadio Reyes Lecuona

DEPARTAMENTO DE: Tecnología Electrónica.

TITULACIÓN: Ingeniería de Telecomunicación

Palabras claves: *Realidad Virtual, Haptic, Objetos deformables, Método Elementos Finitos, Modelo Masa-Muelle*

RESUMEN:

En el siguiente proyecto se ha realizado una aplicación para poder simular objetos defromables hápticamente. De entre todas las técnicas que se pueden utilizar para realizarlo, se ha optado por un modelo clásico masa-muelle, con pequeñas variaciones para mejorar la estabilidad y añadir grados de libertad. Además se han analizado distorsiones hápticas en forma de vibraciones cuando se está deformando el objeto que son muy incómodas para el usuario y se han reducido considerablemente. Todo ello se ha programado para poder utilizarlo con el dispositivo Reachin Display, con las librerías de programación Reachin API.

Málaga, Noviembre de 2005

*Dedicado a mis padres
y especialmente a mi hermana*

Agradecimientos:

Desde estas pequeñas líneas quisiera manifestar mi agradecimiento a todos aquellos que en mayor y en menor medida han colaborado en mayor o en menor medida o han hecho posible que este proyecto llegara a su fin: mis padres, mi familia, mi tutor de proyecto, todos mis compañeros de laboratorio y mis amigos que han ayudado a la corrección, muchas gracias a todos ellos.

Introducción

Contenido de la Memoria

Introducción.....9

Capítulo I.....17

1.1	Definición.....	18
1.2	Aproximación histórica.....	19
1.2.1	Los primeros simuladores.....	19
1.2.2	La primera experiencia virtual.....	20
1.2.3	Los primeros HMD.....	22
1.2.4	Mejoras de las técnicas de representación.....	23
1.2.5	El proyecto Grope.....	25
1.2.6	Guantes de realidad virtual.....	26
1.3	Sistemas de realidad virtual.....	27
1.3.1	Sistemas Inmersivos.....	28
1.3.1.1	Head Mounted Display (HMD).....	29
1.3.1.2	Binocular Omni Orientation Monitor (BOOM).....	30
1.3.1.3	Automatic Virtual Environment (CAVE).....	31
1.3.2	Sistemas semi-inmersivos.....	32
1.3.2.1	Virtual Model Display (VMD).....	32
1.3.2.1.1	Immersadesk.....	32
1.3.2.1.2	Holobench.....	33
1.3.2.2	Spatially Immersive Displays – SID.....	34
1.3.2.2.1	IMAX.....	35
1.3.2.2.2	DOMES.....	35
1.3.3	Sistemas no inmersivos.....	36
1.3.4	Realidad Aumentada.....	36
1.4	Interfaces de los sistemas de Realidad Virtual.....	36
1.4.1	Visión estereoscópica.....	36
1.4.1.1	Gafas para Anaglifos.....	37
1.4.1.2	Gafas Polarizadas.....	38
1.4.1.3	Gafas estereoscópicas activas.....	38
1.4.1.4	Monitores auto estéreos.....	39
1.4.1.5	Chromadepth.....	39
1.4.2	Sistemas de posicionamiento.....	40
1.4.2.1	Rastreadores electromagnéticos.....	40
1.4.2.2	Rastreadores de ultrasonidos.....	42

1.4.2.3	Rastreadores ópticos.....	43
1.4.2.4	Rastreadores Mecánicos.....	44
1.4.2.5	Rastreadores Inerciales.....	44
1.4.3	Dispositivos de interacción.....	44
1.4.3.1	Guantes.....	45
1.4.3.2	Ratones 3D.....	46
1.4.3.3	Varas.....	47
1.4.3.4	Reconocimiento de voz.....	47
1.4.3.5	Sensores biológicos.....	48
1.5	Aplicaciones	48
1.5.1	Ciencia.....	49
1.5.2	Diseño.....	50
1.5.3	Aplicaciones militares.....	50
1.5.4	Discapacitados.....	51
1.5.5	Arte.....	51
1.5.6	Arquitectura.....	51
1.5.7	Robótica.....	52
1.5.8	Enseñanza.....	53
1.5.9	Videojuegos.....	55
1.5.10	Deporte.....	56
1.5.11	Medicina.....	57
1.6	Motivación.....	58
1.7	Objetivo del proyecto.....	60

Capítulo II.....64

2.1	Introducción.....	65
2.2	Conceptos Básicos.....	66
2.3	Fisiología.....	67
2.3.1	Receptores cutáneos.....	67
2.3.1.1	Corpúsculos de Meissner.....	68
2.3.1.2	Discos de Merkel.....	68
2.3.1.3	Corpúsculos de Pacini.....	69
2.3.1.4	Terminaciones de Ruffini.....	69
2.3.2	Receptores musculares.....	70
2.3.2.1	Husos musculares.....	70
2.3.2.2	Órganos de Golgi.....	71
2.4	Interfaces y Dispositivos.....	71
2.4.1	Interfaces táctiles.....	72
2.4.1.1	Vibradores.....	72
2.4.1.2	Neumáticos.....	74
2.4.1.3	Mecánicos.....	74
2.4.1.4	Electrocutáneos.....	75
2.4.1.5	Térmicos.....	75
2.4.2	Interfaces de realimentación de fuerza.....	76
2.4.2.1	Exoesqueletos.....	77
2.4.2.1.1	Hand Exoskeleton Haptic Display	77
2.4.2.1.2	Force Exoskeleton ArmMaster.....	78
2.4.2.2	Interactuadores puntuales.....	79
2.4.2.2.1	Phantom.....	79
2.4.2.2.2	Force Feedback Master.....	80
2.4.2.2.3	Impulse Engine Family.....	80
2.4.2.2.4	Haptic Master.....	81
2.4.2.2.5	Pantógrafo.....	82
2.4.2.2.6	Otros dispositivos.....	83

Capítulo III.....85

3. Dispositivo Phantom y Reachin Display.....86

3.1	Introducción.....	86
3.2	Estructura del Dispositivo.....	87
3.3	Diseño del dispositivo.....	90
3.4	Representación Háptica.....	92
3.4.1	Control de los dispositivos de realimentación de fuerza.....	92
3.4.1.1	Control por impedancia.....	92
3.4.1.2	Control por admitancia.....	93
3.4.2	Técnicas de representación.....	94
3.4.2.1	Vector Field Methods.....	94
3.4.2.2	God-Object.....	96
3.4.2.3	Virtual Proxy.....	98
3.4.2.4	Objetos deformables.....	98
3.5	Modelos disponibles.....	101
3.5.1	Phantom Omni.....	101
3.5.2	Phantom Desktop.....	101
3.5.3	Phantom Premium 1.0, 1.5.....	101
3.5.4	Phantom Premium 3.0.....	102
3.5.5	Phantom Premium 1.5/6dof.....	102
3.5.6	Phantom Premium 3.0/6dof.....	102
3.6	Aplicaciones.....	102
3.6.1	Entrenamiento.....	103
3.6.2	Arte y Diseño.....	105
3.6.3	Otras áreas.....	105
3.7	Reachin Display.....	106

Capítulo IV.....110

4.1	Introducción.....	111
4.2	Red INTUITION.....	111
4.2.1	INRIA.....	113
4.2.2	PERCRO.....	114
4.3	Otros laboratorios.....	117
4.3.1	MIT Touch Lab.....	117
4.3.2	Stanford Dextrous Manipulation Laboratory.....	118
4.3.3	McGill University, High Performance Robotics Lab.....	119
4.3.4	University of Tsukuba, Virtual Reality Iwata Lab.....	120
4.3.5	Multimodal Interaction Group.....	121
4.4	Estudios relacionados.....	122
4.4.1	Dispositivos Hápticos.....	122
4.4.2	Objetos deformables	123
4.4.2.1	Modelos continuos.....	124
4.4.2.2	Modelos discretos.....	125
4.4.2.3	Modelos híbridos.....	125
4.4.3	Objetos deformables hápticamente.....	126

Capítulo V.....129

5.1	Introducción.....	131
5.2	Los bucles de Reachin API.....	132
5.2.1	Bucle Gráfico.....	133
5.2.1.1	Nodo Shape.....	133

5.2.1.2	Nodo Appaerance.....	135
5.2.1.3	Nodo IndexedFaceSet.....	136
5.2.1.4	Nodo SimpleSurface.....	137
5.2.1.5	Ejemplo de grafo de Escena.....	138
5.2.1.6	Nodos Modificadores.....	140
5.2.1.7	Nodos “Ciegos”.....	141
5.2.1.8	Eventos.....	142
5.2.2	Bucle Háptico.....	145
5.2.2.1	Superficies.....	147
5.2.2.2	Operadores de fuerzas.....	147
5.3	Programación alto nivel.....	148
5.3.1	Código VRML.....	148
5.3.2	Control de eventos.....	152
5.4	Programación a Bajo Nivel.....	154
5.4.1	Grafo de escena.....	154
5.4.1.1	Uso de VRML a bajo nivel.....	157
5.4.1.2	Creación de nuevos nodos.....	158
5.4.1.3	Clases especiales.....	160
5.4.1.3.1	Collide.....	160
5.4.1.3.2	Contact.....	162

Capitulo VI.....166

6.1	Posibles soluciones.....	167
6.1.1	Basadas en las propiedades geométricas del objeto.....	167
6.1.2	Basadas en las propiedades físicas del objeto.....	169
6.1.2.1	Modelo de Elementos Finitos.....	170
6.1.2.2	Sistemas Masa-Muelle.....	174
6.2	Parámetros del modelo.....	174
6.3	Técnicas Numéricas.....	175
6.3.1	Método de Euler.....	177
6.3.2	Método de Heun.....	179
6.3.3	Métodos Runge Kutta.....	180
6.3.4	Integración Verlet.....	181
6.4	Modelado de geometrías.....	182

Capitulo VII.....189

7.1	Introducción.....	190
7.2	Definición de Clases.....	192
7.2.1	DeformableSurface.....	192
7.2.2	Deformable.....	195
7.2.3	Clase Partícula.....	200
7.2.4	Clase Muelle.....	201
7.2.5	Clase Sistema.....	202
7.3	Métodos Implementados.....	203
7.3.1	Clase Partícula.....	204
7.3.2	Clase Muelle.....	205
7.3.3	Clase Sistema.....	206
7.3.4	Clase Deformable.....	211
7.3.5	Clase DeformableSurface.....	222
7.4	Programa principal.....	225

Capitulo VIII.....232

8 Optimización de la Aplicación.....	233
8.1 Problemas de diseño.....	233
8.1.1 Problemas de método.....	233
8.1.2 Acondicionamiento del sistema.....	234
8.1.3 Diseño de las geometrías.....	235
8.1.4 Modelado de planos de espesor despreciable.....	237
8.1.5 Estructura de soporte.....	238
8.1.6 Método numérico utilizado.....	241
8.1.7 Problemas al estirar.....	244
8.1.8 Vibraciones en el punto de contacto.....	245
9 Capitulo IX.....	256
Conclusiones.....	256
9.1 Conclusiones.....	256
9.2 Fidelidad de la simulación.....	257
9.3 Mejoras y líneas futuras.....	259
9.3.1 Implementación de un modelo de deformación local.....	259
9.3.2 Crear una aplicación más amigable para la simulación.....	260
9.3.3 Implementar diferentes métodos numéricos.....	260
9.3.4 Implementación de un modelo de fracturas.....	261
9.3.5 Creación de una aplicación de modelado volumétrico.....	261
9.3.6 Permitir que el instrumento tenga superficie.....	262
9.3.7 Implementar muelles plásticos en lugar de elásticos.....	262
9.4 Resumen final.....	263
Anexo A.....	266
Hojas de Características.....	266
PHANTOM® Omni™.....	266
PHANTOM Desktop™ Haptic Device.....	268
PHANTOM® Premium Model Haptic Devices.....	270
PHANTOM Premium 1.5/6DOF, 1.5 HighForce/6DOF and 3.0/6DOF Haptic Devices.....	272
Reachin Display.....	276
10 Anexo B.....	277
Dispositivos Comerciales de Realidad Virtual.....	277
Dispositivos comerciales de interfaz visual.....	277
Dispositivos comerciales de posicionamiento.....	278
Dispositivos comerciales de interfaz sonoro.....	279
Dispositivos comerciales de entrada básica.....	279
Dispositivos comerciales hápticos.....	279
Dispositivos comerciales de movimiento corporal.....	280
Dispositivos generadores de olores.....	280
12 Anexo C.....	282
Manual de Usuario de la Aplicación.....	282
15 Anexo D.....	289

