

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA  
DEPARTAMENTO DE SISTEMAS INFORMÁTICOS Y COMPUTACIÓN



**Sistema de Calibración Automática de Proyector para  
Sistemas de Visualización basados en Estéreo Pasivo.**

**Máster en Inteligencia Artificial, Reconocimiento de Formas e Imagen Digital  
Marcos Martí Nacher**

**dirigido por D. Ramón Pascual Mollá Vaya**

**Noviembre 2008**



# Índice general

---

<b>1. Motivaciones</b>	<b>9</b>
<b>2. Antecedentes y estado actual</b>	<b>11</b>
2.1. Percepción Espacial . . . . .	11
2.1.1. Efectos profundidad . . . . .	11
2.1.2. Estereoscopia . . . . .	12
2.2. Tipos de dispositivos de visualización estéreo . . . . .	12
2.2.1. Cascos de realidad virtual . . . . .	12
2.2.2. Monitor lenticular o auto-estéreo . . . . .	13
2.2.3. Anáglifo . . . . .	13
2.2.4. Estéreo Activo . . . . .	14
2.2.5. Estéreo Pasivo . . . . .	15
2.2.6. Active InFiTec . . . . .	15
2.3. Dispositivos de visualización de gran tamaño: problemas y soluciones . . . . .	16
2.3.1. Dispositivos de visualización de gran tamaño . . . . .	16
2.3.2. Problemática . . . . .	17
2.3.3. Sistemas comerciales . . . . .	18
2.3.4. Alternativas . . . . .	19
<b>3. Análisis</b>	<b>23</b>
3.1. Casos de Uso . . . . .	23

3.1.1.	Evento temporal en una instalación no preparada para la proyección . . .	23
3.1.2.	Evento temporal en una instalación preparada para la proyección . . . .	24
3.1.3.	Instalaciones permanentes . . . . .	24
3.2.	Análisis de requisitos . . . . .	24
3.3.	Análisis de soluciones . . . . .	25
3.3.1.	Selección dispositivo visualización . . . . .	25
3.3.2.	Calibración . . . . .	26
3.4.	Aportaciones . . . . .	27
<b>4.</b>	<b>Trabajo realizado</b>	<b>29</b>
4.1.	Sistema propuesto . . . . .	29
4.2.	Proceso de calibración . . . . .	30
4.3.	Proceso de visualización . . . . .	31
4.4.	Calibradores . . . . .	31
4.4.1.	Calibrador Automático . . . . .	32
4.4.2.	Dispositivos de visualización de gran tamaño . . . . .	33
4.4.3.	Registro . . . . .	33
4.4.4.	Calibrador Manual . . . . .	33
4.5.	Visualizadores . . . . .	34
4.5.1.	Wrapper de OpenGL . . . . .	34
4.5.2.	Visor OpenSceneGraph . . . . .	34
4.5.3.	Plug-in VideoLan . . . . .	35
<b>5.</b>	<b>Trabajos Futuros</b>	<b>37</b>
<b>6.</b>	<b>Contribuciones</b>	<b>39</b>
6.1.	Lugares en los que se ha implantado . . . . .	39
6.1.1.	Instalaciones del Visionarium de la UPV . . . . .	39
6.1.2.	Sistema de visualización 3D de la FOM . . . . .	39
6.2.	Publicaciones . . . . .	40
<b>A.</b>	<b>Registro</b>	<b>41</b>

ÍNDICE GENERAL	5
<b>B. Justificacion</b>	<b>45</b>
<b>C. Dossier de Prensa</b>	<b>47</b>



# Índice de figuras

---





# 1

## Motivaciones

Tenemos gráficos 3D cada vez de mejor calidad. Las *GPU*s cada vez tienen mayor potencia gráfica. Están apareciendo nuevas tecnologías como Nvidia SLI[1] que te permiten interconectar dos tarjetas gráficas para obtener una única tarjeta de mayor obtener.

Nosotros observamos imágenes proyectadas en una pantalla plana 2D que solo muestra un render igualmente plano de una escena. Tienes la impresión de como sería, pero realmente no estas ahí. Los usuarios solo pueden tener la impresión de sentirse un espectador, como mirar a una fotografía. No están totalmente inmersos en la aplicación como ellos realmente desearían.

La razón es que todos los polígonos que tu tarjeta gráfica 3D de ultima generación envía al monitor seguirán terminando en un dispositivo 2D - como una fotografía. A diferencia de la realidad en la que vivimos que es tridimensional.

En la visualización 3D resulta fascinante cuando los objetos de repente parecen como si se mueven hacia ti, saliendo de la pantalla. Si la pantalla es lo suficientemente grande para envolvernos veremos como los objetos surgen de la pantalla situándose a nuestro alrededor, claramente obtenemos sensación de profundidad.

El objetivo es conseguir un sistema de visualización 3D económico, fácil de utilizar y que sea transportable. Este software debe permitir tanto realizar unas demostraciones en unas jornadas, como ser utilizado en unas instalaciones permanentes.

Entre los sistemas de visualización 3D existentes que cumplían los requisitos se eligió el sistema de estéreo pasivo. Este sistema utiliza dos proyectores, una para la imagen del ojo izquierdo y el otro para la imagen del ojo izquierdo. Delante de las lentes de los proyectores se sitúa un filtro de polarización. El usuario debe ponerse unas gafas pasiva con cristales polarizados cuya polarización coincide con los filtros de los proyectores. Así luz del proyector

izquierdo viene polarizada y solo puede pasar por el cristal izquierdo de las gafas, esta luz es bloqueada por el cristal derecho. La pantalla debe conservar la polarización de la luz que refleja.

El inconveniente de utilizar dos proyectores es que deben calibrarse, las imágenes de los proyectores deben emparejarse perfectamente en la pantalla. Como no existían aplicaciones que resolvieran este problema se decidió aplicar los conceptos básicos de la calibración geométrica para dispositivos de visualización de gran tamaño creado utilizando múltiples proyectores.

Se han implementado unos calibradores y unos visualizadores. Antes de visualizar imágenes tridimensionales se realiza un calibración automática mediante uso de una cámara el resultado se almacena en un fichero de calibración. En tiempo de visualización los visualizadores leen el fichero de calibración y en la fase de post-proceso aplican las transformaciones a las imágenes para corregir geoméricamente los proyectores.

Este software ha sido utilizado con éxito tanto en las instalaciones del Visionarium de la Universidad Politécnica de Valencia como en las instalaciones de la Fundación Oftalmológica del Mediterráneo.

# 2

## Antecedentes y estado actual

### 2.1. Percepción Espacial

Para entender el principio sobre el cual están basados los dispositivos estéreoscópicos, primero es necesario comprender como el cerebro humano genera la percepción espacial.

Lo primero que hay que entender es que el cerebro humano esta acostumbrado a vivir en un mundo tridimensional y cualquier percepción visual que recibe intenta interpretarlos como señales tridimensionales. En cierto modo, el cerebro desea ver en 3D y por este motivo resulta sencillo “engañarlo” utilizando efectos sencillos.

#### 2.1.1. Efectos profundidad

La visualización 3D utiliza un serie de efectos o trucos para que el cerebro pueda crearse un imagen espacial de las escenas que esta observando. Algunos de los mas utilizados[2]:

**Perspectiva cónica** Que los objetos disminuyan aparentemente de tamaño al alejarse o que las lineas paralelas converjan constituyen señales de profundidad básicas.

**Interposición o solapamiento** Los objetos próximos tapan a los objetos mas alejados.

**Iluminación y sombreado** La tridimensionalidad de los objetos se ve realizada por medio de la iluminación lateral, pues se intensifican los efectos de luz y sombra.

**Tamaño relativo de los objetos** Cuando vemos un objeto del que conocemos su tamaño, podemos estimar lo lejos que esta por la disminución aparente del tamaño.

**Atenuación y desplazamiento cromático al azul** Los objetos lejanos, aparecen mas difuminados. También se observa un desplazamiento cromático hacia los tonos azules en los objetos mas alejados.

**Enfoque** Para percibir nítidamente el objeto observado, el ojo debe adaptarse, teniendo en cuenta la distancia a que se encuentre.

Hasta hace poco las señales de atenuación cromática y enfoque no estaban disponibles, salvo en programas de foto realismo. Pero actualmente cada vez se utilizan mas en en vídeo juegos y aplicaciones de visualización 3D.

Como se ha comentado la mayoría de estos efectos están siendo utilizados desde el comienzo de los gráficos tridimensionales, pero no crean la ilusión de que los objetos salgan de la pantalla. Para conseguir esta ilusión se necesita estereoscopia.

### 2.1.2. Estereoscopia

La visión del ser humano es binocular. El cerebro humano interpreta la realidad a partir de las imágenes que le proporcionan los dos ojos [3]. Estas imágenes presentan pequeñas diferencias entre si, debidas a la separación entre los ojos, que varia alrededor de los 65 mm de media. La disparidad o paralaje entre estas imágenes es utilizada por el cerebro para percibir la profundidad, siendo la base de la denominada visión estereoscópica.

La base de los dispositivos de visualización estéreo es conseguir, mediante distintos sistemas, que cada ojo perciba la imagen que se le ha asignado. La imagen que se le asigna a cada ojo puede ser creada mediante ordenador o obtenida de la realidad mediante cámaras estereoscópicas.

## 2.2. Tipos de dispositivos de visualización estéreo

La clave de los dispositivos de visualización estéreo o 3D es la estereoscopia, es decir mostrar a cada ojo la imagen que le corresponde. A continuación vamos mostrar los distintos tipos de dispositivos estereoscópicos. Para cada dispositivo explicaremos brevemente su funcionamiento y la técnicas que utilizan para mostrar a cada ojo su imagen correspondiente, por ultimo comentaremos sus ventajas e inconvenientes [4].

### 2.2.1. Cascos de realidad virtual

El usuario dispone de un casco especial con dos monitores miniaturizados, donde se proyectan las imágenes del par estereoscópico. Aunque estrictamente hablando no forma parte del casco y se adquiere por separado, a menudo suelen llevar acoplado un giróscopo para registrar la orientación de la cabeza y poder variar la escena mostrada en consecuencia.

### **Ventajas**

La mayor ventaja es que solo puedes ver la imágenes estéreoscópicas que te muestra el casco, el hecho de solo poder ver la imagen tridimensional hace que sea muy inmersivo. Si lleva acoplado un giróscopo y las imágenes mostradas varían de consecuencia el efecto es muy impresionante.

Ademas, normalmente en estos dispositivos se puede regular la distancia entre los monitores miniaturizados con lo cual se puede ajustar las distintas separaciones interpupilar de los distintos usuarios.

### **Inconvenientes**

El peso del casco es uno de sus mayores inconvenientes rompiendo la ilusión de inmersión, aunque están mejorando en este aspecto y cada vez son menos pesados.

El otro inconveniente son los cables que lo unen a la tarjeta gráfica lo que limitan y molestan los movimientos.

## **2.2.2. Monitor lenticular o auto-estéreo**

El monitor proyecta una imagen tridimensional sin necesidad de que el observador utilice ningún otro dispositivo. Para ello, sobre la pantalla se adhiere un filtro lenticular. Por simple difracción, el filtro lenticular ofrece a cada ojo la imagen deseada, ocultando la otra.

### **Ventajas**

Su mayor virtud es el no necesitar llevar ningún tipo de gafas, con la comodidad que ello supone. Además son tan fáciles de montar como cualquier otro monitor.

### **Inconvenientes**

El mayor inconveniente de esta tecnología es que los usuarios deben estar situados en la perpendicular con el monitor, con un ciertos numero de grados en margen. Actualmente parece que están surgiendo otras tecnologías que solucionan este problema

Otro posible inconveniente es el tamaño de estos monitores, aunque recientemente se han construido monitores auto-estéreo de hasta 52 pulgadas.

## **2.2.3. Anáglifo**

Es el método mas sencillo, únicamente necesita es unas gafas con los cristales tintados. La escena es vista a través de unas gafas con los cristales tintados de rojo/azul, la imagen correspondiente al ojo derecho es mostrada en tonos de rojo, y la del otro ojo en azul. Los cristales tintado actúan como filtros de color, dejando pasar a cada ojo únicamente las imágenes que le corresponden. También se utilizan cristales tintados con otras combinaciones rojo/cían, rojo/verde, ámbar-azul.

### **Ventajas**

Es una opción muy económica. Únicamente utiliza un proyector estándar y las gafas son muy baratas.

### **Inconvenientes**

Uno de los inconvenientes es que las imágenes visualizadas parecen más o menos monocromas y mirar tales imágenes un largo periodo de tiempo fuerza bastante los ojos.

Lo peor es que los efectos 3D creados muy pequeños, especialmente con distancias de visión cortas.

## **2.2.4. Estéreo Activo**

Los sistemas de estereo activos trabajan mostrando a los usuarios las imágenes de los ojos derecho e izquierdo secuencialmente a alta frecuencia (normalmente más de 96 frames por segundo). Sin embargo, al usuario solo se le permite ver una imagen cada vez. El usuario lleva unas gafas especiales que consisten en dos obturadores de luz LCD controlados por infrarrojos. Cuando el proyector muestra la imagen del ojo izquierdo, el obturador del ojo izquierdo de las gafas activas se cierra, y viceversa. Así, cuando la imagen del ojo izquierdo está siendo presentado por el proyector, el ojo izquierdo está transparente mientras el ojo derecho está opaco. Puede utilizarse un único proyector si es capaz de mostrar las imágenes a la suficiente frecuencia para que el usuario no perciba un parpadeo al cambiar en ojos.

### **Ventajas**

Este sistema solo utiliza un proyector y por lo tanto no tiene problemas de calibración. Además no necesita una pantalla de un material especial.

### **Inconvenientes**

Los sistemas de estereo activo tienen bastantes inconvenientes:

Hasta hace algunos años, los únicos proyectores asequibles que proporcionan frecuencias de refresco en el rango adecuado eran los proyectores CRT, aunque estaban surgiendo algunos proyectores LCD y DLP que eran capaces de conseguir estas frecuencias pero eran especialmente caros. En la actualidad estos proyectores LCD y DLP han bajado de precio pero siguen siendo bastante más caros que los proyectores estándar.

El mayor problema de esta técnica son las gafas, las cuales son a la vez frágiles y caras. Además todos los usuarios deben tener línea de visión con el emisor de infrarrojos, o de lo contrario las gafas no sabrán cuándo volver las cristales transparentes u opacos.

Aun utilizando frecuencia alta el parpadeo puede provocar dolor de cabeza a personas especialmente sensibles.

### 2.2.5. Estéreo Pasivo

Se utilizan dos proyectores para mostrar la imagen en una pantalla, uno proyector para el ojo izquierdo y el otro para el derecho. Delante de la lente de cada proyector se coloca un filtro de polarización. Las imágenes se proyectan en una pantalla especial que refleja la luz polarizada correctamente a cada ojo. El usuario necesita llevar unas gafas polarizadas que únicamente permiten pasar la luz de uno de los proyectores.

Existen dos tipos de filtros: polarización lineal y polarización circular. En la polarización lineal, los filtros están polarizados en ángulo recto con respecto al otro. Estos filtros tienen el problema que cuando el usuario ladea su cabeza demasiado se puede perder el efecto estereoscópico, porque cambian el ángulo de polarización de sus gafas. Para evitar este problema se puede utilizar polarización circular, donde la luz de uno de los ojos utiliza polarización de mano izquierda y la otra de mano derecha.

#### Ventajas

La mayor ventaja del estéreo pasivo es su bajo coste. Pudiendo utilizar proyectores LCD o DLP estándar, desafortunadamente la luz proveniente de la mayoría de proyectores LCD está parcialmente polarizada. En la práctica se suelen utilizar proyectores DLP.

Otra ventaja es que las gafas utilizadas en estéreo pasivo son bastante baratas. Además estas gafas son bastante robustas, lo cual las hacen muy apropiadas incluso en clases.

#### Inconvenientes

Aunque tienen muchas ventajas, el estéreo pasivo no es ni mucho menos perfecto:

Necesita que los dos proyectores estén calibrados y alineados, las imágenes de los dos proyectores deben emparejarse completamente en la pantalla.

Otro problema es que los filtros con el tiempo pueden combarse por efecto de la calor proveniente de los proyectores, sobre todo si están situados en lugares poco ventilados o muy cerca de las lentes.

En imágenes con gran contraste aparecen el efecto "fantasma". Ni siquiera los filtros de polarización de mayor calidad pueden bloquear completamente la luz del otro ojo, este es la razón que en ciertas escenas por un ojo puedes ver la imagen correspondiente al otro pero muy atenuada, de ahí su nombre.

Uno de los mayores problemas es la necesidad de utilizar pantallas polarizadas, aunque existe una gran variedad de tamaño y precios.

### 2.2.6. Active InFiTec

Recientemente han aparecido una serie de técnicas de visualización estereoscópica basadas en filtros de color de última tecnología. Estas técnicas son las que se están utilizando en las últimas películas 3D para cines. Existen distintas compañías que utilizan estas técnicas, nosotros

como ejemplo vamos a explicar la tecnología Infitec montada sobre proyectores Barco.

La tecnología Barco Infitec+ utiliza filtrado por color de alta calidad para separar las imágenes del ojo izquierdo y el derecho que son mostradas secuencialmente. Los usuarios ponerse unas gafas pasivas Infitec para apreciar el efecto 3D. Esta tecnología no necesita una pantalla especial. Existe una versión de esta tecnología que utiliza dos proyectores y otras compañías además de Barco ofrecen proyectores con tecnología Infitec.

Esta tecnología intenta coger lo mejor de el estéreo pasivo y activo.

### **Ventaja**

Estos son las ventajas de esta tecnología siempre según Barco, ya que no las hemos comprobado en persona:

Las gafas Infitec son pasivas, por lo tanto no causan dolor de cabeza debido al parpadeo al cambiar de ojo como el que provocan la gafas activas. Por el mismo motivo no es necesaria una sincronización entre el proyector y las gafas, lo cual elimina la limitación de rango debido a los infrarrojos. Además, al ser gafas pasivas son robustas y baratas.

Con respecto al estéreo pasivo eliminan la necesidad de utilizar un pantalla especial. Además como utilizan un único proyector no necesitan calibración.

### **Inconvenientes**

La tecnología parece perfecta, pero tiene algunos inconvenientes:

Esta tecnología es montada en proyectores de Barco tienen grandes capacidades pero también su precio es muy alto. Aunque las gafas son pasivas, no son tan baratas como las gafas de estéreo pasivo.

Barco asegura que el filtrado del espectro del color es corregido totalmente usando una técnica de corrección de color interna que llevan su proyectores, pero nosotros no podemos asegurar que así sea ya que no hemos podido comprobarlo.

## **2.3. Dispositivos de visualización de gran tamaño: problemas y soluciones**

### **2.3.1. Dispositivos de visualización de gran tamaño**

Los avances en informática han hecho que la visualización de información este ampliamente disponible y resulte casi indispensable. Algunos tipos información requieren ser visualizados en dispositivos de gran tamaño y resolución, por ejemplo, aquellas áreas que manejan un gran volumen de información. Además, si las pantallas son lo suficientemente grandes el usuario solo puede observar la imagen del dispositivo lo que ayuda sumergirnos en las escenas.



Aunque las pantallas planas están mejorando su tecnología y bajando el precio, es muy difícil y caro crear una pantalla de gran tamaño y resolución utilizando este tipo de pantallas planas.

Una forma viable de construir este tipo de dispositivos es utilizar múltiples proyectores colocados formando una cuadrícula o rejilla para crear un área de visualización de gran tamaño.

Este tipo de dispositivos de gran tamaño son usados en visualización científica, realidad virtual y otras aplicaciones visualmente intensivas.

### 2.3.2. Problemática

Las imágenes de un dispositivo de visualización multi-proyector deben parecer como si se hubieran generado por un único dispositivo de visualización. Es decir no se deben apreciar discontinuidades, ni tampoco las zonas en las que contribuye cada proyector. En la literatura sobre este tema escrita en inglés su suele utilizar el termino *seamless*, que literalmente significa: "sin costuras".

Conseguir una imagen *seamless* supone corregir las desalineaciones geométricas y también las variaciones de color tanto dentro de los propios proyectores, como entre los diferentes proyectores para crear una imagen final que sea geoméricamente y fotométricamente correcta. Este proceso de corrección es comúnmente llamado "calibración". La calibración incluye dos aspectos: alineación geométrica y corrección de color [5].

#### Alineación Geométrica

La alineación geométrica se ocupa de la continuidad geométrica de todo el dispositivo, por ejemplo, una línea recta que cruza el dispositivo visualizándose por varios proyectores debe continuar siendo recta.

Esta alineación debe ser muy precisa, incluso las pequeñas discontinuidades son muy perceptibles y distraen al espectador.

#### Corrección de color

La corrección de color o fotométrica se ocupa de la continuidad del color en el dispositivo, por ejemplo, el brillo de las imágenes proyectadas no debe variar visiblemente dentro del dispositivo.

Se pueden distinguir tres tipos de de variaciones de color: intra-proyectores, inter-proyectores y solapamientos.

**Intra-Proyectores** Se refieren a las variaciones dentro de color dentro de un proyector. Dentro de un proyector la crominancia es constante, pero no así la luminancia.

**Inter-Proyectores** Se refieren a las variaciones de color entre los distintos proyectores. Si los proyectores son del mismo modelo las variaciones de cromancia son insignificantes, pero no así las variaciones de luminancia. Si por contra los proyectores son de distintos modelos las variaciones de cromancia son relativamente pequeñas y las de luminancia son bastante significativas.

**Solapamientos** Como su nombre indica trata las variaciones de color en las que se solapan dos o mas proyectores. La cromancia se mantiene casi constante, pero la luminancia prácticamente se multiplica por el numero de proyectores que se solapan.

### 2.3.3. Sistemas comerciales

Existen distintas soluciones comerciales para dispositivos de gran tamaño basados en proyectores, algunos de los mas conocidos son: Power Wall[6] y PanoWalls[7]. Estos sistemas comparten entre si y con otras soluciones comerciales basados en multiples proyectores, como la Cave[8], la misma metodología de calibración y utilizan hardware de visualización de similares características.

En los siguientes apartados vamos a explicar como efectúan la calibración y que hardware de visualización ion utilizan, así como explicar los inconvenientes de estos sistemas.

#### Calibración

La **calibración geométrica** se basa en un construcción rígida y precisa. Los proyectores deben estar perfectamente alineados para producir imágenes geoméricamente correctas.

Este tipo de calibración requiere:

- Una infraestructura de visualización especial y muy cara.
- La instalación debe ser efectuada por expertos. Aun siendo realizada por expertos la alineación manual pueden costar muchas horas a varios especialistas.
- Necesita un mantenimiento continuo. Aunque la construcción es rígida, como debe ser tan precisa las vibraciones, cambios de lamparas de los proyectores, etc. provocan que los re-alineamientos sean frecuentes y deben ser realizados por expertos.

Todo lo dicho anteriormente incrementa significativamente el precio. A menudo, la mitad del coste esta relacionado con la infraestructura de visualización, incluyendo montaje de hardware y pantallas, es decir, no incluye el coste de los propios proyectores[cita]. Además este alineamiento manual limita el tipo de superficies en las que se puede visualizar.

Para conseguir la **corrección de color** se deben utilizar proyectores de alta tecnología. Estos proyectores permiten balancear los colores para conseguir un imagen fotométricamente

correcta en todo el dispositivo. Manipular manualmente estos parámetros en los proyectores es una tarea ardua y tediosa que debe ser realizada por un experto.

Por todo lo comentado anteriormente el dispositivo de visualización debe tener unas instalaciones permanente y dedicadas en exclusiva.

### **Hardware de visualización**

El hardware de visualización utilizado en los sistemas comerciales suelen ser maquinas especialmente diseñadas para visualización y calculo intensivo, compuesta por múltiples procesadores y tarjetas gráficas interconectadas mediante tecnologías propietarias para que el usuario crea que es un único ordenador.

Estas maquinas tienen en común las siguientes características:

- Son caras.
- Son difíciles de utilizar, sobre todo para aquellos acostumbrados a los sistemas de escritorio.
- Necesitan administradores expertos para hacerlos funcionar y mantener.
- A menudo requieren compiladores, software y entornos de desarrollo especializados.

### **Inconvenientes**

En resumen, las soluciones comerciales siguen siendo caras, tanto su montaje por los elementos necesarios y las horas que se le deben dedicar, así como también su mantenimiento requiriendo personal especializado para la calibración y para el hardware de visualización. Además, necesita una instalación permanente.

En cuanto a su usabilidad, el desarrollo en las maquinas de visualización no es muy amigable para aquellos usuarios acostumbrado a sistemas de escritorio.

### **2.3.4. Alternativas**

En los últimos años han ido apareciendo técnicas que permiten construir dispositivos de visualización de gran tamaño de forma rentable, convirtiendo estos dispositivos en sistemas más flexibles y usables.

A continuación vamos a repasar los inconvenientes de los sistemas comerciales y como los solucionan estas técnicas[5].

## Calibración

La alineación manual de los proyectores es muy difícil y costosa. La idea principal es permitir alinear los proyectores forma no tan precisa, permitiendo incorrecciones. Permitiendo este tipo de calibración se reducen las restricciones en la disposición de los proyectores permitiendo un montaje y mantenimiento rápido y flexible. Además de abaratar los costes en infraestructuras de visualización.

Pero la imagen debe seguir conservando la corrección geométrica. Para conseguir esta alineación geométrica se utiliza una corrección por software, las imágenes son transformadas previamente para compensar los desalineamientos de los proyectores.

La utilización de proyectores de alta tecnología se debe a la necesidad de corregir las variaciones de color y solo estos modelos permiten modificar los parámetros necesarios. Para solucionar este inconveniente se utiliza una aproximación similar a la anterior, modificar previamente la luminosidad y crominancia de las imágenes mostradas por cada proyector para que la imagen resultante sea fotométricamente correcta. Con esto se permite utilizar proyectores estándar y facilitar la calibración del color.

## Hardware de visualización

Para sustituir el problema del hardware de visualización se propuso la utilización de *clusters* de PCs dedicados a la visualización. Es decir, utilizar múltiples PCs conectados en red y aprovechar la potencia de sus tarjetas gráficas.

Estos sistemas actúan como un único dispositivo de visualización lógico. Esto debe ser transparente tanto para las aplicaciones como para el desarrollador.

Sistemas como Chromium[9], WireGL[10] y VRJuggler[11] han demostrado la viabilidad de construir *cluster* de visualización utilizando muchos PCs.

## Funcionamiento de la calibración

Todas estas ideas comentadas en el apartado anterior son muy interesantes, pero ¿cómo calcular la transformación que se le debe aplicar a cada proyector para realizar la corrección geométrica?, y también ¿cómo calcular las transformaciones de color necesarias?. Para ello estas técnicas utilizan cámaras y técnicas de visión por ordenador, las cuales son explicadas a continuación.

Algunas técnicas de visión por ordenador basadas en cámaras han sido propuestas para corregir la geometría y color. Estas técnicas automáticas utilizan cámaras para calibrar los dispositivos geométricamente y fotométricamente, calculando una deformación correctiva y una corrección de intensidad para cada proyector.

Utilizando la retroalimentación obtenida de una cámara o varias cámaras, los ajustes necesarios para registrar la visualización, en ambos términos geométricos y fotométricos, pueden

ser automáticamente calculados y aplicados a través de software [12], [13], [14], [15]. La idea principal en estas aproximaciones es usar las cámaras para proporcionar un control de bucle cerrado. Los desalineamientos geométricos y desequilibrios de color son detectados por la cámara (o cámaras) que monitorizan las contribuciones de los múltiples proyectores usando técnicas de visión por ordenador. Las funciones de corrección de la geometría y color necesarias para generar un única imagen *seamless* través de todos los proyectores son calculadas. Finalmente, la imagen de cada proyector es previamente transformada por software para conseguir la corrección. Así, los proyectores pueden ser colocados mas despreocupadamente y las imprecisiones resultantes en la geometría y el color pueden ser corregidos automáticamente en minutos, simplificando mucho el montaje de los dispositivos y su mantenimiento.

### Ventajas

En comparación con los sistemas tradicionales dependen de montajes precisión, las técnicas de calibración basadas en cámaras proporcionan las siguientes ventajas en particular:

- Mayor flexibilidad y adaptabilidad. Dispositivos de gran tamaño con calibración basada en cámaras puede ser usado en una gran variedad de entornos, por ejemplo, en la esquina de una habitación, o cruzando una columna. Estas irregularidades pueden causar distorsiones que los sistemas tradicionales no pueden solucionar fácilmente.
- Fácil montaje y mantenimiento. Técnicas de calibración basadas en cámaras pueden automatizar completamente el montaje de los dispositivos de gran tamaño. Esto es particularmente atractivo en ferias, demostraciones, etc. Las costosas tareas de balancear el color y alinear la geometría pueden ser evitados y técnicas automatizadas pueden ser usadas para calibrar el dispositivo en solo unos minutos.
- Reducción de costes. Desde que el montaje preciso de los proyectores no es necesario, los proyectores pueden ser colocados utilizando estructuras de soporte menos especializadas (o incluso algo tan simple como poner los proyectores en una estantería. Además, no es necesario contratar profesionales entrenados para mantener el alineamiento preciso para que el dispositivo de visualización sea funcional. Además, ya que las variaciones de color también pueden ser compensadas, los caros proyectores con ópticas de gran calidad (que aseguran uniformidad en el color) pueden ser reemplazados por unos estándar.

Aunque las técnicas de calibración basadas en cámaras necesitan cámaras y hardware para digitalizar las señales, estos costes son amortizados ahorrando los costes de mantenimiento. Las sobrecargas como deformación y mezclado de imágenes en tiempo de visualización para corregir las distorsiones sean reducidos o eliminado con los recientes avances in hardware gráfico.



# 3

## Análisis

En este capítulo vamos a realizar el análisis del sistema de visualización 3D. Primero expondremos algunos casos de uso que el sistema debe ser capaz de solucionar, a partir de estos casos de uso analizaremos los requisitos que debe cumplir el sistema. En la sección de análisis de soluciones estudiaremos si las distintas soluciones existentes cumplen los requisitos previamente establecidos. Por último, detallaremos las aportaciones que realiza esta tesina de máster.

### 3.1. Casos de Uso

Vamos a exponer brevemente algunos casos de uso del sistema.

#### 3.1.1. Evento temporal en una instalación no preparada para la proyección

En este caso de uso se incluyen las instalaciones que no están preparadas para la visualización mediante proyectores, por ejemplo stands en ferias, salas de reuniones, laboratorios. En cuanto a la duración de los eventos pueden abarcar desde eventos que duran 30 minutos hasta que pueden alargarse durante varios días. A continuación describo ejemplos:

Utilización de un sistema de visualización 3D para mostrar un producto en una feria del sector. El sistema debe estar instalado durante los 2 o 3 días que dura la feria en unas instalaciones no pensadas para la proyección de imágenes bidimensionales ni mucho menos tridimensionales.

Utilización de un sistema de visualización 3D para realizar una demostración a unos alumnos o profesores en un laboratorio o habitación no preparada para la visualización bidimensional ni tridimensional.

### 3.1.2. Evento temporal en una instalación preparada para la proyección

En este caso se incluyen aquellos eventos que tienen lugar en instalaciones preparadas para la visualización 2D mediante proyectores. La duración de los eventos puede ser desde unas pocas horas o varios días.

Realización demostraciones de gráficos o vídeo 3D durante un congreso en un salón de actos, estas instalaciones suelen estar preparadas para la proyección de imágenes. Ejemplos:

También se incluirá en esta caso de uso, realizar unas demostraciones para ilustrar algún concepto a los alumnos en las propias aulas de la universidad, todas las aulas están equipadas con proyectores y pantallas.

### 3.1.3. Instalaciones permanentes

En este caso de uso se incluyen las instalaciones permanentes de visualización 3D, tanto en instalaciones previamente preparadas para la visualización 2D, como instalaciones nuevas. Por ejemplo:

Instalar un sistema de visualización 3D en el salón de actos de una universidad o institución. Este caso se debe tener en cuenta las visualización 2D se debe mantenerse.

## 3.2. Análisis de requisitos

Teniendo en cuenta los casos de uso anteriormente expuestos se ha obtenido los requisitos que debe cumplir el sistema, estos son:

**Sistema visualización 3D** Por supuesto debe ser un sistema de visualización 3D, se pretende que el usuario se sumerja en la escenas que esta observando y obtener la sensación que los objetos salen de la pantalla de visualización.

**Multi-Usuario** El sistema debe poder ser utilizado por múltiples usuarios a la vez. En todos los casos de uso se especifica que varios usuarios pueden observar las imágenes tridimensionales. El numero de personas puede variar desde 5 o 6 personas que podrían verlo en una laboratorio o habitación mas o menos pequeña, hasta 100 personas que pueden sentarse en un salón de actos con una instalación permanente.

**No interactivo** La idea es que el espectador se sienta como en un cine, pero viendo imágenes tridimensionales. Se puede ver desde un vídeo 3D a imágenes creadas por ordenador, pero el usuario es un espectador y no interactúa con la escena.



**Fácil de usar** Debe ser fácil de instalar y mantener, ya que puede ser utilizado tanto en eventos de corta duración como en instalaciones no preparadas para ello. Por supuesto no debe necesitar personal especializado.

**Transportable** Debe poder ser desplegado fácil y rápidamente en instalaciones no fijas. Incluye tanto la facilidad al instalar, como que los elementos necesarios sean fáciles de trasladar.

**Económico** En el precio del sistema se incluye tanto el coste de los elementos que lo componen como el coste de la instalación y mantenimiento. Por lo tanto no debe requerir componentes de alta tecnología, ni personal especializado para su montaje y mantenimiento.

**Flexible y adaptable** Debe adaptarse a las diversas circunstancias que se pueden dar al utilizarse en instalaciones no fijas. Por ejemplo, en instalaciones de proyección trasera, stands en ferias, etc.

### 3.3. Análisis de soluciones

Lo primero que vamos a hacer en este apartado es elegir el sistema de visualización 3D que mejor se adapte a nuestros requisitos. Después de seleccionar el sistema de visualización repasaremos sus ventajas e inconvenientes, y las soluciones existentes a estos inconvenientes.

#### 3.3.1. Selección dispositivo visualización

Los **cascos de realidad virtual** se han descartado porque solo pueden ser utilizados por un usuario. Por otra parte, los **monitores auto-estéreo** y la tecnología **Barco Infitec+** (como representante de este tipo de tecnologías) no se pudieron valorar, porque en el momento en el que se tuvo que tomar la decisión estas tecnologías no existían o estaban en sus comienzos. De todos modos, aunque hubieran estado disponibles son bastante caras y por tanto no cumplirían los requisitos.

La opción del **estéreo anáglifo** se descartó por la mala calidad de las imágenes resultantes (imágenes muy monocromas) y por la reducida sensación de profundidad.

Las opciones que nos quedan son: **estéreo pasivo** y **estéreo activo**. A continuación describiremos sus inconvenientes relacionados con los requisitos del sistema:

**Estéreo Activo** Su principal inconveniente son las gafas activas, que son caras y frágiles. Para instalaciones permanentes con gran número de aforo el precio de las gafas se vuelve un inconveniente, así como la colocación de repetidores de infrarrojos para que la señal llegue a todos los usuarios. Para instalaciones temporales, aun con un poco de número de asistentes, la colocación de los emisores de infrarrojos se puede complicar según las

condiciones de la sala. En todos los casos las gafas deben ser tratadas cuidadosamente, cambiar las pilas o baterías que lleven periódicamente y tener la precaución recoger todas la gafas cuando termine el evento.

**Estere Pasivo** Sus dos inconvenientes principales son la necesidad de utilizar dos proyectores y un pantalla especial. Necesita un pantalla especial polarizada que refleje correctamente la luz de los proyectores. Como utiliza dos proyectores estos deben ser calibrados previamente a la visualización.

Se selecciono **estéreo pasivo** con filtros de polarización lineal. Las diferencia de calidad entre un sistema y otro es mínima, y no justifica el incremento de precio tanto en las gafas como en los proyectores, además de la dificultad de colocar los emisores de infrarrojos.

En cuanto al inconveniente de tener que utilizar una pantalla especial, de todas formas había surgido necesidad de tener una pantalla que pueda ser fácilmente transportada para poderla utilizar en instalaciones no preparadas para la proyección.

En lo relativo a los filtro de polarización, los filtros circulares hubieran sido la mejor opción si lo usuarios tuvieran que interactuar libremente con el sistema. Pero en sistemas tipo cine los filtros de polarización funcionan correctamente.

La problemática de la calibración es tratada en el siguiente apartado.

### 3.3.2. Calibración

Para que un sistema de estéreo pasivo de sensación de tridimensionalidad las imágenes de los dos proyectores deben coincidir completamente en la pantalla. Si los dos proyectores son del mismo modelo las variaciones de color son despreciables.

Para conseguir la corrección geométrica los sistemas comerciales se basan en un construcción rígida y precisa. Esta calibración utiliza soportes especiales que permiten posicionar los proyectores correctamente, como la alineación debe ser tan precisa estos soportes están fijados al suelo y por lo tanto necesitan unas instalaciones permanentes. El montaje y mantenimiento proyectores es costoso y debe ser realizado por personal especializado. Algunos sistemas comerciales también utilizan hardware especializado para visualización.

Cuando se planteo la posibilidad de crear un sistema estéreo no existían soluciones software que solucionaran los problemas de calibración del estéreo pasivo. Estos sistemas eran ampliamente utilizados, pero aquellos que se fabricaban un sistema pasivo con proyectores y elementos comunes normalmente hacían una calibración manual, aquellos no realizaban calibración manual utilizaban software interno que no estaba disponible a la comunidad científica. La calibración manual aun siendo dos proyectores puede llevar varias horas, sobre todo si se utilizan proyectores estándar en los que no se pueden modificara tantos parámetros como los de alta tecnología.

En los temas relativos a la utilización de múltiples proyectores los investigadores se estaban centrando en cuevas de realidad virtual y sobre todo dispositivos de visualización de

gran tamaño basados en proyectores. Como se a descrito en la apartado 2.3.3 los dispositivos de visualización de gran tamaño comerciales comparten algunos de los inconvenientes con los sistemas de estéreo pasivo. En el siguiente apartado vamos a detallar las semejanzas y diferencias entre los dos sistemas, después indicaremos que soluciones planteadas en los dispositivos de gran tamaño con aplicables a nuestro sistema.

### **Dispositivos de gran tamaño: semejanzas y diferencias**

**Calibración geométrica** En los dispositivos de gran tamaño la alineación geométrica le indica a cada proyector cual es la porción de la imagen final que debe mostrar para que la imagen final de todos los proyectores sea correcta geoméricamente. En cambio en el estéreo pasivo la calibración le debe indicar a cada proyector en que porción de su pantalla debe mostrar toda la imagen del ojo correspondiente. Aunque que parezcan aproximaciones totalmente opuestas los conceptos clave son los mismos, es decir, en los dos casos el sistema de calibración necesita saber la correspondencias entre los puntos de cada proyector y un marco de referencia común (normalmente la pantalla) para posteriormente realizar los cálculos.

**Calibración fotométrica** A los sistemas de estéreo pasivo no les afectan tan decisivamente los problemas con la variación del color ya que cada proyector contribuye únicamente a un ojo, solo se aprecian problemas si un proyector tiene mucha mas luminosidad que el otro. Pero con dos proyectores del mismo modelo las diferencia no son apreciables.

**Hardware de render** En estero pasivo solo se utilizan dos proyectores con lo cual un ordenador con una tarjeta de gama media-alta es suficiente para la mayoría de las aplicaciones. Por lo tanto no es necesario utilizar *cluster* de Pcs dedicados a la visualización.

Resumiendo, se pueden utilizar los conceptos básicos de la calibración geométrica de los dispositivos de gran tamaño, pero habría que cambiar los cálculos de la transformación geométrica final aplicada a los proyectores.

Se podría modificar el software existente para dispositivos de gran tamaño para que se adecuara a sistemas de estero pasivo, pero la calibración debe ser aplicada después por software en tiempo real lo cual nos obligaría a utilizar sistemas de *clusters* de PCs para la visualización los cuales no son necesarios ya que solo utilizamos un PC. Además, también tendríamos que eliminar la calibración del color ya que esta pensada para solucionar los problema de los dispositivos de gran tamaño.

## **3.4. Aportaciones**

Dado que los sistemas existentes no se ajustaban a los requisitos exigidos decimos implementar un calibrador automático basado en cámaras para sistemas de estéreo pasivo, y sus

correspondientes visualizadores. Este sistema esta basado en los conceptos básicos de la calibración de dispositivos de visualización de gran tamaño.

Se decidió implementar dos calibradores, un calibrador automático que utilizara una cámara y un calibrador manual para aquellas situaciones en las que no fuera posible utilizar el método automático. Estos calibradores crean un fichero de calibración que es leído por los visualizadores para aplicar las correspondientes deformaciones a la imágenes, estas deformaciones se aplican en un post-proceso.

Los visualizadores se han enfocado a dos áreas: gráficos generados por ordenador en tiempo real y visualización de vídeo estéreo. En los gráficos generados pro ordenador se pretendía que pudiese utilizarse tanto en aplicaciones creadas para utilizar nuestro sistema de calibración como en aquellas no pensadas para ello y que no tuvieran el código fuente disponible. En la visualización de vídeo 3D se pretendía poder utilizar tanto vídeo grabado como vídeo en directo.

Por supuesto todo los requisitos especificados en el análisis (apartado 3.2) debían cumplirse.

# 4

## Trabajo realizado

En este capítulo describiremos brevemente el sistema propuesto. A continuación, explicaremos los procesos de calibración y visualización. Para terminar describiremos los calibradores y visualizadores desarrollados.

### 4.1. Sistema propuesto

El sistema propuesto se basa en dos aplicaciones o grupos de aplicaciones. Los calibradores realizan los cálculos necesarios para alinear correctamente la geometría y escriben esta calibración en un fichero. Por otro lado los visualizadores leen este fichero y modifican las imágenes antes de proyectarlas para que el resultado sea geoméricamente correcto.

Para la implementación de estas aplicaciones se utilizó el siguiente material:

- Dos proyectores estándar del mismo modelo.
- Varias modelos de cámaras de tipo webcam de gama baja.
- Una pantalla plegable polarizada
- Unos filtros de polarización lineal y sus correspondientes gafas.

## 4.2. Proceso de calibración

Cuando se construye un dispositivo de visualización de estereo pasivo, dos tipos de distorsión geométrica deben ser solucionadas: intra-proyección y inter-proyección.

**Intra-proyector** Las distorsiones intra-proyector son distorsiones dentro de un único proyector por proyección (off-axis), distorsión radial, etc.

**Inter-proyector** Las distorsiones inter-proyector son encontradas entre proyectores, ya que ambos proyectores deben emparejarse perfectamente en la pantalla.

**Nota:** Las referencias indicadas a continuación se refieren a calibraciones de dispositivos de visualización de donde se han obtenido los conceptos básicos, para después apartarlos a la problemática del estereo pasivo. Se han citado artículos sobre dispositivos de visualización de gran tamaño ya que los investigadores se han centrado en este tipo de dispositivos y existen muy pocos artículos que tratan de calibración en estereo pasivo.

Cuando la superficie de visualización es plana, cada imagen del proyector  $P_k$  puede ser relacionada con un marco de referencia,  $R$ , en la superficie de visualización, por medio de una holografía 2D (sugerimos [16] para aquellos que no están familiarizados con las holografías). A esta holografía proyector-a-marco de referencia la llamamos  ${}_R P_k$  donde  $k$  es el índice del proyector y el subíndice  $R$  significa que la holografía mapea la imagen de  $P_k$  al marco de referencia  $R$ . Para calcular la holografía, es necesario establecer las correspondencias entre los marcos de coordenadas.

El alineamiento de las imágenes proyectadas se consigue transformando previamente la imagen de cada proyector,  $P_k$ , usando la holografía,  ${}_R P_k^{-1}$ . Esta transformación puede ser realizado directamente en la *pipe-line* de renderizado [17] o se puede aplicar en la fase post-visualización [18]. Nosotros hemos elegido esta ultima opción, los motivos se explicarán posteriormente cuando se hable de los visualizadores.

Así, la clave es determinar la  ${}_R P_k$  correcta para cada proyector  $P_k$ . En esencia, necesitamos establecer correspondencias entre los puntos de cada proyector y el marco de referencia,  $R$ . Estas correspondencias pueden ser adquiridas utilizando una cámara para observar las imágenes proyectadas, como se muestra en la **Figura 3 todo**.

Primero debe calcularse una homografía entre la cámara y el frame de referencia  $R$ , a la que llamamos  ${}_R C$ . Después de calcular  ${}_R C$ , las imágenes proyectadas de cada  $P_k$  son adquiridas por la cámara y se calcula una holografía proyector-a-cámara para cada proyector  $k$ , que llamamos  ${}_R C_k$ . La holografía proyector-a-marco de referencia,  ${}_R P_k$ , se obtiene de  ${}_R C$  y  ${}_R C_k$  como:

$${}_R P_k = {}_R C {}_R C_k \quad (4.1)$$

Una vez obtenida la holografía proyector-a-marco de referencia,  ${}_R P_k$ , para cada proyector, se puede calcular el rectángulo de mayor área sobre el que proyectan ambos proyectores, es-

te rectángulo debe estar alineado con los ejes de coordenadas del marco de referencia. Este rectángulo obtenido en coordenadas del marco de referencia es convertido mediante la matriz de holografía  ${}_R P^{-1}_k$  a coordenadas del proyector  $P_k$ . El rectángulo una vez transformado a coordenadas del proyector puede convertirse un cualquier tipo de cuadrilátero.

De este modo cada proyector debe transformar la imagen a visualizar para que se muestre en el cuadrilátero calculado. esta imagen transformado cuando es proyectada se empareja perfectamente con la imagen del otro proyector.

### 4.3. Proceso de visualización

La visualización utiliza las capacidades de las tarjetas gráficas 3D para transformar las imágenes. En concreto se utiliza el OpenGL[cita a la pagina], OpenGL es una *API* para gráficos 2D/3D que se ha convertido en en estándar *de facto*.

La aproximación mas sencilla es dibujar el cuadrilátero 2D obtenido en el proceso de calibración y “pegarle” la imagen que debe ser transformada, pero esta aproximación no funciona. Esto es debido a que OpenGL utiliza transformaciones lineales para “pegar” las imágenes a los polígonos pero la matriz de holografía calculada en la ecuación 1 no es lineal. Estas irregularidades en las imágenes proyectadas se acentúan mas cuando los proyectores se encuentran mas separados de la normal a la pantalla.

Este efecto no es apreciable si el cuadrilátero es pequeño. Por eso se decidió dividir el cuadrilátero en cuadriláteros de menor tamaño, cuando mas alejado esta el proyector de la perpendicular a la pantalla mas pequeños deben los cuadriláteros y por tanto deben de subdividirse mas.

En lugar de dividir el cuadrilátero en coordenadas de los proyectores, lo que se hace es dividir el rectángulo original calculado en coordenadas del marco de referencia. Sobre este cuadrilátero se puede utilizar interpolación bi-lineal para calcular la cuadrícula de cuadriláteros de igual tamaño. Posteriormente estos cuadrados son transformados mediante la ecuación  ${}_R P^{-1}_k$ , obtenida en proceso de calibración, a coordenadas del proyector.

De este modo, en lugar de “pegar” la imagen a un único cuadrilátero, se visualizan muchos cuadriláteros cada uno con su porción de imagen “pegada”. La imagen se divide en una cuadrícula de cuadriláteros de igual tamaño, pero en este caso no se convierten las coordenadas de los proyectores, a cada cuadrilátero se le asigna la porción de textura que le corresponde.

### 4.4. Calibradores

Se han creado dos calibradores: un calibrador automático y un calibrador manual. El calibrador automático utiliza un cámara para las correspondencias de los puntos entre las cámaras y el marco de referencia. El calibrador manual desarrollo para aquellas ocasiones en el que no

se pudiera utilizar cámaras para la calibración.

Los proyectores al terminar la calibración crean un fichero de calibración. En este fichero se almacenan para cada proyector la coordenadas de los vértices de la retícula de cuadriláteros de que debe dibujarse así como sus coordenadas de textura correspondientes.

#### **4.4.1. Calibrador Automático**

El calibrador automático lo primero que se debe hacer es seleccionar las esquinas de las pantalla manualmente (es la una operación que se debe hacer de forma manual). A continuación, el mostrara por un proyector un patrón consistente en cuatro puntos en las esquinas del proyector e intenta encontrarlos en las imagen obtenida por la cámara, sino los encuentra aumenta el tamaño de los puntos hasta un umbral máximo. Si encuentra los puntos del proyector, repite el proceso con el otro proyector. Una vez obtenida esta información el calibrador crear el fichero de configuración.

La elección del patrón fue debida a las cámaras que se utilizaron. Estas cámaras no permiten modificar el tiempo de exposición y al obtener capturas aparece el efecto arco iris de los proyectores DLP. Por este motivo no se puede utilizar otros patrones mas adecuados como el tablero de ajedrez.

#### **Procesado de la imagen**

El procesado de la imagen utilizado es muy sencillo, pero obtiene unos resultado muy buenos. Primero se convierte la imagen a escala de grises. A continuación se le aplica un ecualización de histograma global y después un binarización con el umbral elegido a partir del histograma.

El paso final era buscar clusters de puntos en la imagen binarizada y descartar aquellos que no estuvieran compuestos por un numero mínimo de pixels. Si solo quedaban cuatro clusters de pixels se había terminado el proceso, sino se modifica el umbral de binarizacion dentro de un rango y se repetía la búsqueda de pixels. Si finalmente no encontraban las esquinas se incrementaba el tamaño de los puntos y se volvía a repetir el proceso entero.

Este método pese a ser sencillo a dado muy buenos resultados. Las imágenes que mas hacían fallar al algoritmo de procesado eran aquellas que contenían algún reflejo de un objeto brillante.

#### **Funcionamiento en red**

Para poder adaptarse a instalaciones en las cuales el ordenador que controla los proyectores y la cámara no pueden estar físicamente conectados por la distancia que les separa, cosa muy común en instalaciones de proyección trasera, el calibrador puede ejecutar múltiples instancias de si mismo conectadas por red en modo maestro-esclavos.



En el caso de la proyección trasera, el ordenador está detrás de la pantalla y la cámara debe colocarse delante de la pantalla a una cierta distancia. Para solucionar esta situación, la cámara se conecta a un portátil conectado a la red por cable o wi-fi. Tanto el portátil como el ordenador de proyección ejecutan el calibrador. El calibrador del portátil actúa como maestro y se le indica que debe calibrar los proyectores conectados a un ordenador de proyección (mediante su IP o nombre de host). No se debe realizar ninguna configuración en el ordenador de proyección, el calibrador maestro dirigirá la calibración indicándolo al calibrador esclavo que debe mostrar, cuando termina la calibración le enviara por red el fichero de calibración al calibrador esclavo que lo escribirá en disco.

De hecho nada impide realizar una calibración estéreo en la que cada proyector esté conectado a un ordenador distinto, solo se debe indicar que ordenador controla el proyector del ojo izquierdo y cual el del ojo derecho.

#### **4.4.2. Dispositivos de visualización de gran tamaño**

Aprovechando las características de funcionamiento por red y las similitudes en los conceptos base de la calibración geométrica de los proyectores se implementó en el calibrador automática la calibración en dispositivos de gran tamaño. La cantidad de proyectores que se pueden calibrar depende de las características de la cámara, una cámara de vídeo estándar puede calibrar un máximo de cuatro proyectores.

La calibración de color no ha sido implementada.

#### **4.4.3. Registro**

El calibrador automático ha sido registrado en la Universidad Politécnica de Valencia, como así lo demuestra la documentación del Anexo 1.

#### **4.4.4. Calibrador Manual**

El calibrador manual fue creado para utilizarse en aquellas circunstancias en las que no puede ser utilizado el calibrador automático. Es una aplicación muy sencilla pero que permite calibrar los proyectores de forma rápida y sencilla.

En la calibración manual se muestran dos cuadrículas, una en cada proyector, que ocupan toda la pantalla. A estas cuadrículas se le pueden mover las esquinas. La idea principal es mover las cuadrículas con el ratón hasta que los dos proyectores se emparejen completamente en pantalla. Una vez conseguido se acepta la calibración y el software calcula el correspondiente fichero de configuración.

## 4.5. Visualizadores

Se crearon tres visualizadores para adaptarse a los distintos requerimientos de visualización. Estos visualizadores leen el fichero de configuración, y lo interpretan transformando las imágenes que envían a los proyectores. Estas imágenes una vez proyectadas se emparejan perfectamente.

### 4.5.1. Wrapper de OpenGL

El wrapper de OpenGL se creó para aquellas aplicaciones de OpenGL que están preparadas para visualizarse en modo estereoscópico (en *horizontal split*) pero no se dispone del código o sería muy complicado modificarlo.

Este wrapper de OpenGL sustituye la librería original. Cuando se carga busca el fichero original en el directorio donde está la librería, si lo encuentra carga la información de calibración. Todas las funciones están redirigidas a sus homónimas en la librería original, todas exportan *glSwapBuffers()*. La función *glSwapBuffers()* que la imagen que está dibujándose en el buffer trasero cambie al delantero y se muestre, por tanto es última función que se llama justo antes de visualizarse. El wrapper coge la imagen del buffer y dibuja la malla correctora de cuadriláteros poniendo la como textura la mitad de la imagen correspondiente. Por último llama a la función *glSwapBuffers()* original.

Este wrapper apenas penaliza la velocidad de visualización de los juegos. Ha sido probado en motores de visualización como OGRE [cita] y vídeo juegos comerciales, aunque mucho de los vídeo juegos actuales detectan este tipo wrapper y no permiten que se ejecute el programa.

El wrapper de OpenGL se genera automáticamente a partir de los ficheros de cabecera de la librería, y se han creado tanto para windows como para Linux. En Mac OS X este sistema no funciona ya que OpenGL es un framework del sistema y no puede ser sustituido.

En resumen una aplicación de gráficos que pueda lanzarse en estéreo y utiliza OpenGL puede utilizar nuestro sistema de calibración simplemente dejando la librería y el fichero de calibración en el mismo directorio en el que se encuentra el ejecutable.

### 4.5.2. Visor OpenSceneGraph

En nuestra labor de investigación y desarrollo en gráficos por ordenador estamos utilizando extensivamente un grafo de escena llamado OpenSceneGraph [Cita]. Actualmente OpenSceneGraph es seguramente la herramienta de visualización de carácter general y código abierto más utilizada en el mundo. OpenSceneGraph utiliza para la visualización el API OpenGL. Dado que utilizábamos tanto esta herramienta decidimos crear un visualizador que nos permitiera calibrar utilizar la calibración de forma fácil y sin realizar muchos cambios en el código.

El resultado ha sido una clase a la que le pasas el nodo raíz de la escena que se quiere representar y ella se encarga de todo, ese es el único cambio que debe realizarse al código

original. Además permite modificar parámetros como la distancia inter-pupilar, la distancia a la pantalla, etc.

### 4.5.3. Plug-in VideoLan

Para la visualización de vídeos estéreo se optó por crear un plug-in para VideoLan[cita]. VideoLan es un software GPL de visualización y transmisión de vídeo ampliamente utilizado, con soporte para múltiples formatos tanto de vídeo como de audio.

Se decidió crear un plug-in basado en un existente que visualiza las imágenes utilizando OpenGL. Al plug-in se le puede indicar que fichero de calibración que debe utilizar. Si se le indica a VideoLan que utilice este plug-in y está visualizando una imagen estéreo en formato *horizontal split* transformará las imágenes de forma adecuada.

Cualquier fuente de vídeo (fichero, cámara o transmisión por red) y formato soportado por VideoLan puede ser visualizado correctamente con este sistema.



# 5

## Trabajos Futuros

Algunos de los trabajos que pueden realizarse en el futuro:

**Utilizar otro tipo de patrones** La utilización de cámaras que soporten la modificación manual del tiempo de exposición, en la actualidad la mayoría de las cámaras, permitirá utilizar otro tipo de patrones como el tablero de ajedrez. Con la utilización de estos patrones se pueden obtener más correspondencia de puntos y obtener la solución por mínimos cuadrados. Este tipo de soluciones es más robusta en caso de errores. [10], [23], [42], [9], [54], [41]

**Implementa calibración de color** La implementación de técnicas de calibración de color permitiría utilizar este sistema para construir dispositivos de visualización de hasta cuatro proyectores con un único ordenador, utilizando dos tarjetas gráficas con dos salidas cada una.

**Proyección en superficies esféricas** También sería interesante crear implementas la calibración sobre superficies esféricas, como las utilizadas en algunos sistemas de realidad virtual.

**Wrapper de Direct3D** Para abarcar todo el espectro de aplicaciones gráficas tridimensionales se podría implementar un wrapper para Direct3D que es la otra gran API de visualización.



# 6

## Contribuciones

En el siguiente apartado voy a explicar brevemente en instalaciones esta siendo utilizado el sistema de calibración de estéreo pasivo. A continuación comentare la publicaciones relacionadas.

### **6.1. Lugares en los que se ha implantado**

#### **6.1.1. Instalaciones del Visionarium de la UPV**

El sistema de calibración esta siendo utilizado en las instalaciones del Visionarium de la Universidad Politécnica de Valencia. Así lo hace constar el documento del Anexo 2. Estas instalaciones cuenta un sistema de visualización de estere pasivo de proyección trasera.

la calibración de estos proyectores se realiza con nuestro software de calibración, del mismo modo se utiliza nuestro software de visualización tanto para vídeo como para gráficos generados por ordenador.

#### **6.1.2. Sistema de visualización 3D de la FOM**

Dentro de un proyecto de colaboración con la Fundación Oftalmológica del Mediterráneo se han utilizado el software que presentado, en concreto el calibrador y el plug-in de VideoLan.

El Instituto de Automática e Informática Industrial instalo un sistema para poder visualizar en 3D y en directo las intervenciones oftalmologías realizadas en los quirófanos de la FOM.

Además, permite enviar esta señal de vídeo estéreo por Internet.

El proyecto constaba de tres apartados:

- Adquisición de la señal estéreo del microscopio del quirófano.
- Visualización mediante estéreo pasivo en el salón de actos de la FOM.
- Trasmisión de la señal estéreo mediante Internet.

Es sistema fue probado el pasado 23 de Octubre en un congreso, siendo un éxito y obteniendo gran relevancia en la prensa y televisión. Se adjunta dossier de prensa en el Anexo 3.

## 6.2. Publicaciones

Publicaciones previas:

1. Virtainer es una aplicación que utiliza OpenScenegraph para representar un terminal de contenedores, la aplicación leía la situación de los contenedores de una base de datos y los representaba. Además representaba también la posición de las grúas y camiones que eran actualizados en tiempo real. Una de las tareas que realice en el proyecto Virtainer fue implementar la funcionalidad necesaria para que pudiera visualizarse en entorno tipo cueva de realidad virtual, en dispositivos de visualización de gran tamaño a partir de múltiples monitores o proyectores.
2. En el sistema multiagentes JGomas implemente la visualización mediante el uso de VR-Juggler en entornos de tipo cueva de realidad virtual y en dispositivos de gran tamaño.

Publicaciones derivadas:

Tenemos un artículo de revista pendiente de aceptación. En este artículo se presentan los problemas, opciones y soluciones escogidas al realizar la implementación del sistema de visualización 3D de la FOM. En dicho sistema se utilizan el calibrador y el plug-in de VideoLan.



**A**

**Registro**



## COMUNICACIÓN DE RESULTADOS A PROTEGER

Autores <sup>1</sup> (por orden):			
Nombre y Apellidos	Departamento	Situación laboral	Porcentaje participación <sup>2</sup>
Marcos Martí Nacher	Instituto U. ai2	Téc. contratado	
Roberto Vivó Hernando	Instituto U. ai2	PDI	
José Simó Ten	Instituto U. ai2	PDI	
Pedro Jorquera Hervás	Instituto U. ai2	Téc. contratado	

<sup>1</sup>Sólo podrán constar como inventores las personas que hayan contribuido con aportación intelectual a la obtención de la invención.

<sup>2</sup>De no especificarse el porcentaje de participación en la obtención de la invención, se entenderá que es a partes iguales para todos los inventores.

**Título del software:** SCAP: Sistema de Calibración Automática de Proyectoros

### Documentos a presentar:

- Código fuente en formato CD.
- Explicación y copia en papel de las pantallas más importantes.

- Como se ha llegado al resultado (proyecto/contrato). ¿Cuál?  
Proyecto VER: Vídeo Estéreo Remoto
- Si ha sido publicada, fecha y lugar donde se ha publicado.  
No Publicado

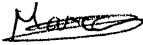
**Características técnicas esenciales:** El sistema desarrollado aplica un procedimiento automático de calibración de proyectores para la visualización de imágenes y vídeo en estéreo o sobre pantallas de gran tamaño. El sistema calcula la deformación que debe aplicarse a las imágenes que muestran los proyectores para que la visualización final cumpla las restricciones del formato seleccionado. En la visualización pueden intervenir uno o varios proyectores conectados a uno o varios ordenadores. La calibración puede ser totalmente automática usando técnicas de visión o parcialmente manual.

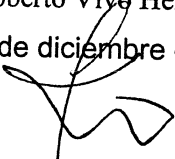



Palabras Clave relevantes que identifiquen el programa:	
Español:	Inglés:
Proyectores, calibración, estéreo, visión	Projectors, calibration, stereo, vision

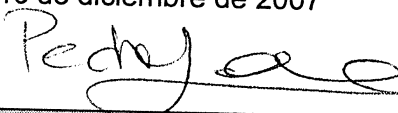
Por la firma del presente documento los inventores se obligan a colaborar con el CTT en la gestión y transferencia de los resultados identificados.

**FIRMA DE TODOS LOS INVENTORES:**

Nombre: Marcos Martí Nacher  
Fecha: 16 de diciembre de 2007  
Firma: 

Nombre: Roberto Vivó Hernando  
Fecha: 16 de diciembre de 2007  
Firma: 

Nombre: José Simó Ten  
Fecha: ~~16 de diciembre de 2007~~  
Firma: 

Nombre: Pedro Jorquera Hervás  
Fecha: 16 de diciembre de 2007  
Firma: 

<sup>1</sup>Notas internas:

Referencia CTT:

Gestor CTT:



# B

## Justificacion



UNIVERSIDAD  
POLITECNICA  
DE VALENCIA



VICERRECTORADO DE TECNOLOGÍAS  
DE LA INFORMACIÓN  
Y DE LAS COMUNICACIONES

Valencia, 1 de octubre de 2008

D. José Simó Ten, Director del Área de Sistemas de Información y Comunicaciones de la Universidad Politécnica de Valencia, hace constar que el software registrado "Sistema Automático de Calibración de Proyectoros SCAP" ha sido utilizado con éxito en el Visionarium de dicha Universidad para la mejora del sistema instalado de proyección estéreo, suponiendo un beneficio constatado en el servicio ofrecido por su innovadora tecnología y facilidad de uso.



Fdo. José Simó  
Director del Área de Sistemas de Información y Comunicaciones  
Universidad Politécnica de Valencia

**C**

**Dossier de Prensa**

VIDA Y OCIO

## Retransmiten en 3D intervenciones para un centenar de oftalmólogos

Los especialistas conocen en Valencia los avances contra el astigmatismo

25.10.08 - A. G. | VALENCIA

Un congreso reunió ayer en la Fundación Oftalmológica del Mediterráneo (FOM) a un centenar de especialistas de toda la Comunitat Valenciana. La principal novedad durante la mañana fue la retransmisión de varias intervenciones en tres dimensiones.

Se trata de la primera ocasión en que un centro de estas características utiliza esta modalidad para visionar una operación.

El objetivo era que los asistentes pudieran comprobar exactamente qué observa el cirujano a través del microscopio, y seguir todos los pasos de la intervención para resolver posibles dudas. De las diez intervenciones que se llevaron a cabo, dirigidas a la corrección del astigmatismo, seis se retransmitieron en 3D. Los asistentes al congreso seguían desde el auditorio la operación que se desarrollaba en los quirófanos.

El centro, que cumple con una labor docente y científica, avanza principalmente en el desarrollo de dos nuevas técnicas. Una de ellas consiste en la intervención en las deformidades de la córnea con anillos implantados a través del láser. Esta práctica, según fuentes de la FOM, se ha reducido ahora a apenas diez minutos. El láser ofrece más seguridad en el tallado del túnel donde se mete el anillo en la córnea (que tiene un espesor de medio milímetro), según explicó la directora médica de la FOM, Amparo Navea. La diferencia reside en la precisión que ofrece este método frente a la técnica manual que es la que se emplea habitualmente en estas operaciones.

La segunda de las investigaciones es la corrección del astigmatismo fuerte mediante lentes intraoculares. Esta nueva generación de lentes permite corregir el astigmatismo de cada paciente de manera muy personalizada, ya que los dispositivos se hacen a medida.



Una de las intervenciones que se realizaron ayer en la Fundación Oftalmológica del Mediterráneo.



Version Accesible



Tu seguro online de coche

Internauta.com seguros de coches sólo para jóvenes a los mejores precios.

Ofertas en Hoteles!

Reserva el Hotel que Tú quieres. Hasta el 70% de Descuento!

Mapa Web

Utilidades

Noticias por Email

Alertas

Titulares en tu Web

miPanorama-Actual

papelDigital

Secciones

- Política
Economía
Sociedad
Copa América
Sucesos
Deportes
- La web del Valencia
- La web del Levante
- La web del Elche
- La web del Villarreal

Cultura/Espectáculos

Tecnología

Humor

Canal Turismo

papelDigital

Hemeroteca

Archivo de Portadas

Titulares del día

Ediciones

Crea tu propia edición local

- Valencia
Alicante
Castellón
Alcoi
Benidorm
Elche
Gandía
Orihuela
Torrevieja
Elda
Mislata - Xirivella

Crea tu propia edición temática

Tus Noticias

Blogs

- La Licuadora por Jorge Feo
Socialismo Online por Carlos González Triviño

Why Not? por Guillem Bertomeu Torner

Opinión

::Editorial

-Camps, líder indiscutible del PP

::El Sabueso

-Primer encuentro oficial

-Pleno popular

-Castedo, de moda

-Felicidades para García Antón

-Pleno de expresidentes

-Encuentro del sur

-Curiosa conversación

-Distancia

-Cambiando las costumbres

-Presencia Empresarial Valenciana

::No te va a gustar

-Grandes desafíos contra el gobierno de ZP

-La Tribuna



Panorama-Actual > Sociedad >

La FOM retransmite en directo 3D seis intervenciones oftalmológicas

La Fundación Oftalmológica del Mediterráneo (FOM) retransmitió este viernes en directo 3D seis intervenciones que pudieron ser seguidas por más de cien profesionales que participan en el Congreso "Reunión de polo anterior. Corrección del astigmatismo: un nuevo enfoque para el cirujano" que se celebra en Valencia.

SERVICIOS: Enviar, Imprimir, descargar, Ranking, Aumentar, Disminuir

PANORAMA-ACTUAL - 24/10/2008 18:23 h.

El FOM es un centro enfocado a la atención integral oftalmológica desde el punto de vista asistencial, pero también docente e investigador, lo que obliga a la actualización continua para conseguir que las técnicas punteras dentro de la especialidad se apliquen en la Comunidad Valenciana lo antes posible.

La puesta en marcha de esta iniciativa para observar la intervención en directo 3D permite a los médicos asistentes obtener la misma visión de la intervención que el cirujano que opera en ese momento en directo, según señaló la fundación en un comunicado.

El congreso celebrado hoy, que pretende avanzar en las últimas técnicas y líneas de investigación de la corrección del astigmatismo, contó con la emisión en directo diez operaciones de las que seis fueron en 3D lo que convierte a la fundación en el primer centro de España que utiliza esta técnica en este ambito

La directora médico de la FOM, Amparo Navea, explicó que "entre las operaciones realizadas, destacan las cirugías de catarata con implante de lio tórica y el implante de anillo intraestromal mediante Intralase". Señaló que "la primera se refiere al tratamiento de las deformidades corneales con anillos implantados con la ayuda del láser (Intralase).

El láser permite una gran seguridad en el tallado del túnel donde se mete el anillo en la córnea (que tiene un espesor de medio milímetro) y ofrece gran precisión, a diferencia de la técnica manual que se emplea normalmente. La segunda técnica es

Hotels.com
Hoteles en todo el mundo a precios fantásticos
Algarve 39€
Niza 59€
Mallorca 40€
precio diario por habitación

Lasik Center
Cirugía Láser y Cataratas Oftalmología y visión infantil
www.lasikcenter.es
Contorno Corporal
Un nuevo concepto: infórmate Cirugía Estética por Especialistas
www.tu-mejor-inversion.es
Clínicas Novovision.Lasik
Cirugía Laser más segura. Miopia, cataratas, presbicia, ojoseco.
www.clinicasnovovision.com

Más noticias de Sociedad

-La FOM retransmite en directo 3D seis intervenciones oftalmológicas

-El Centro de Información de la Serra d'Irta será una escuela sobre el parque

-Más de 500 expertos analizarán en Valencia el conflicto saharauí

-José Sanmartín será el rector de la VIU

-El Consell cree que la financiación universitaria cumplirá con las expectativas

Valoración
¿Qué interés tiene para ti esta noticia?
1 2 3 4 5

Buscar más
OK

Estadísticas

Visitas: 17
Puntos: 0 Votos: 0
Envíos por email:
Impresiones:
Descargas: 3

Anuncios Google
Sermesa
Prevención
Prev.Técnica - Vigilancia Salud Formación - Reconocimientos Médicos
www.sermesa.es
Láser oftalmológico
Láser. Socios y no socios
73€/MES Cita gratuita 91 726 47 01
www.sanitasventas.com/

Problemas

**La Tribuna**

-Las apariencias y los camelos

Chat

**Servicios**

Tienda

Barra de Navegación

Ticker Panorama

Juegos

Tiempo

Tráfico

Agenda

Cartelera

Farmacias de guardia

Loterías

Horóscopos

Clasificados

Postales

Televisión

**Interactivo**

Cartas del lector

Foros

**Periódico**

Contacta con nosotros

Anúnciate

Trabaja con nosotros

Sugerencias

**Debate del día**

Opina sobre el congreso del PP

[Más debates...](#)**Encuesta**

¿Crees que el PP enmendará la caducidad del Tajo-Segura en el Estatuto de C-LM?

 Sí, se eliminará toda referencia al Tajo Sí, pero se optará por un eufemismo en el texto para no aludir a la caducidad No, porque triunfará lo pactado por De Cospedal No, porque el Yajo no puede ceder más agua NS. / NC.**votar**[ver resultados](#)

la corrección del astigmatismo fuerte mediante lentes intraoculares. Esta nueva generación de lentes permite corregir el astigmatismo de cada paciente de manera muy personalizada, ya que lentes se hacen a medida", indicó.

**Avance muy importante**

El subsecretario de la conselleria de Sanidad, Alfonso Bataller, que inauguró el congreso, señaló que "la posibilidad de mostrar a los profesionales la intervención en 3D es un avance muy importante, ya que va a permitir descubrir y mejorar los últimos avances en cirugía oftalmológica, lo que se traduce en una mejora de la calidad asistencial para el paciente".

La responsable de la fundación señaló que con el encuentro celebrado este viernes el organismo ha cubierto su objetivo docente al permitir, a través de la cirugía 3D, que los médicos asistentes tenga la misma visión de la cirugía que el cirujano que opera en ese momento en directo".

Añadió que la FOM se ha convertido en un referente gracias al esfuerzo que realizan los profesionales, ya no sólo en la atención integral oftalmológica desde el punto de vista asistencial, sino también en su apuesta por la investigación y la mejora de los profesionales a través de la docencia.■

**Comentarios recibidos**

Los comentarios recibidos por los usuarios no sufren revisión ortográfica o de redacción alguna.

**Deja tu opinión****La FOM retransmite en directo 3D seis intervenciones oftalmológicas**

Nombre

Email

Titulo

Comentario

**NOTA:** Panorama-Actual.es se reserva el derecho a rechazar, extractar o editar los comentarios enviados por los lectores. Panorama-Actual.es no se responsabiliza de las opiniones vertidas por terceros en este medio, y no está necesariamente de acuerdo con ellas al publicarlas. Este servicio está regulado también por nuestros términos y condiciones.

SERVICIOS



Enviar



Imprimir



descargar



Ranking



Aumentar



Disminuir

**Visuales - E.M.**

lentilla niños y control miopia  
terapia visual  
problema aprendizaje  
www.inop.net

**Necesita Multifocales?**

Amplio selección de lentillas de primeras marcas a precios online!  
confianza.LensHome.es

© DIARIO CRITICO CV / Panorama Actual 2008. [Política de privacidad.](#)

Paseo de las Facultades, 6. VALENCIA (España). Tel: (+34) 902 52 01 02

R. M. de Valencia: libro 3122, tomo 5816, folio 218, hoja V-54867

CIF: B-98068042

# Cien profesionales siguen en directo una operación 3D



MIKEL PONCE

Sábado, 25-10-08

La Fundación Oftalmológica del Mediterráneo retransmitió ayer en directo 3D seis intervenciones, lo que le convierte en el primer centro en España en utilizar esta técnica. La Cirugía 3D permite a médicos de todo el mundo tener la misma visión de la intervención que tiene el cirujano que opera en ese momento en directo



# Bibliografía

---

- [1]
- [2] Martín. S., J. Suárez, R. Rubio, and R Gallego. Aplicación de los sistemas de visión estereoscópica en las enseñanzas técnicas. *XII Congreso de Innovación Educativa en la Enseñanzas Técnicas*, 2004.
- [3] I.P. Howard and B.J. Rogers. *Binocular Vision and Stereopsis Binocular Vision and Stereopsis Binocular Vision and Stereopsis*. Oxford University Press, 1995.
- [4] Lars Weinand. 3d stereo technology: Is it ready for prime time?
- [5] Michael Brown, Aditi Majumder, and Ruigang Yang. Camera-based calibration techniques for seamless multiprojector displays. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 11(2):193–206, 2005. Member-Michael Brown and Member-Aditi Majumder and Member-Ruigang Yang.
- [6] Mechdyne Corporation Fakespace Systems Inc. Powerwall.
- [7] Panoram Technologies Inc. Panowalls.
- [8] Carolina Cruz-Neira, Daniel J. Sandin, and Thomas A. DeFanti. Surround-screen projection-based virtual reality: the design and implementation of the cave. In *SIGGRAPH '93: Proceedings of the 20th annual conference on Computer graphics and interactive techniques*, pages 135–142, New York, NY, USA, 1993. ACM.
- [9] Greg Humphreys, Matthew Eldridge, Ian Buck, Gordan Stoll, Matthew Everett, and Pat Hanrahan. Chromium: A stream processing framework for interactive. In *SIGGRAPH '01: Proceedings of the 28th annual conference on Computer graphics and interactive techniques*, 2002.
- [10] Greg Humphreys, Matthew Eldridge, Ian Buck, Gordan Stoll, Matthew Everett, and Pat Hanrahan. Wiregl: a scalable graphics system for clusters. In *SIGGRAPH '01: Proceedings*

of the 28th annual conference on Computer graphics and interactive techniques, pages 129–140, New York, NY, USA, 2001. ACM.

[11]

[12] Yuqun Chen, Douglas W. Clark, Adam Finkelstein, Timothy C. Housel, and Kai Li. Automatic alignment of high-resolution multi-projector display using an un-calibrated camera. In *VIS '00: Proceedings of the conference on Visualization '00*, pages 125–130, Los Alamitos, CA, USA, 2000. IEEE Computer Society Press.

[13] Ramesh Raskar, Michael S. Brown, Ruigang Yang, Wei-Chao Chen, Greg Welch, Herman Towles, Brent Seales, and Henry Fuchs. Multi-projector displays using camera-based registration. In *VIS '99: Proceedings of the conference on Visualization '99*, pages 161–168, Los Alamitos, CA, USA, 1999. IEEE Computer Society Press.

[14] Yuqun Chen, Douglas W. Clark, Adam Finkelstein, Timothy Housel, and Kai Li. Automatic alignment of high-resolution multi-projector displays using an un-calibrated camera. In *VISUALIZATION '00: Proceedings of the 11th IEEE Visualization 2000 Conference (VIS 2000)*, Washington, DC, USA, 2000. IEEE Computer Society.

[15] Han Chen, Rahul Sukthankar, Grant Wallace, and Kai Li. Scalable alignment of large-format multi-projector displays using camera homography trees. In *In Proceedings of Visualization*, pages 339–346, 2002.

[16] R. I. Hartley and A. Zisserman. *Multiple View Geometry in Computer Vision*. Cambridge University Press, 2000.

[17] Ruigang Yang, David Gotz, Justin Hensley, and Herman Towles. Abstract pixelflex: A reconfigurable multi-projector display system. In *In Proceeding of IEEE Visualization*, 2001.

[18] Ramesh Raskar, Greg Welch, Matt Cutts, Adam Lake, Lev Stesin, and Henry Fuchs. Abstract the office of the future: A unified approach to image-based modeling and spatially immersive displays. In *Computer Graphics, 32(Annual Conference Series)computer graphics and vision, image processing and human computer Computer Graphics, 32(Annual Conference Series)computer graphics and vision, image processing and human computer Computer Graphics, 32(Annual Conference Series)*, 1998.