

# Índice

[Índice 2](#_Toc297458421)

[Introducción 4](#_Toc297458422)

[Motivación 4](#_Toc297458423)

[Descripción del problema 4](#_Toc297458424)

[Organización del documento 4](#_Toc297458425)

[Estado del arte 5](#_Toc297458426)

[Reconstrucción 3D 5](#_Toc297458427)

[Correspondencia 5](#_Toc297458428)

[Calibración 5](#_Toc297458429)

[Método de triangulación 7](#_Toc297458430)

[Visión estéreo 8](#_Toc297458431)

[Luz estructurada 9](#_Toc297458432)

[Procesamiento de nube de puntos 10](#_Toc297458433)

[Aplicaciones para *video mapping* existentes 11](#_Toc297458434)

[Modul8 11](#_Toc297458435)

[VMDX 12](#_Toc297458436)

[VVVV 12](#_Toc297458437)

[VPT - Video Projection Tool 12](#_Toc297458438)

[Aportes 13](#_Toc297458439)

[Marcelo Vidal 13](#_Toc297458440)

[Martin Borini 14](#_Toc297458441)

[Viktor Vicsek 14](#_Toc297458442)

[Kyle McDonald 15](#_Toc297458443)

[Solución planteada - VMT (The Video Mapping Tool) 15](#_Toc297458444)

[Descripción general 15](#_Toc297458445)

[Descripción de la arquitectura 16](#_Toc297458446)

[Componentes 16](#_Toc297458447)

[Clases 17](#_Toc297458448)

[Colaboración 17](#_Toc297458449)

[Descripción de los módulos 17](#_Toc297458450)

[Motor gráfico: *vmt\_engine* 17](#_Toc297458451)

[Multi proyector 22](#_Toc297458452)

[Calibración 22](#_Toc297458453)

[Tratamiento de malla 23](#_Toc297458454)

[Calibración 28](#_Toc297458455)

[Interfaz gráfica de usuario 28](#_Toc297458456)

[Conclusiones 36](#_Toc297458457)

[Dificultades encontradas, limitaciones y posibles mejoras 36](#_Toc297458458)

[Adquisición 36](#_Toc297458459)

[Calibración 36](#_Toc297458460)

[Conclusiones de la autoevaluación 36](#_Toc297458461)

[Prueba de desempeño 36](#_Toc297458462)

[Conclusiones 36](#_Toc297458463)

[ANEXO I – Eventos realizados 36](#_Toc297458464)

[ANEXO II - Casos de uso relevantes 36](#_Toc297458465)

[Glosario 37](#_Toc297458466)

[Bibliografía 37](#_Toc297458467)

[Índice de figuras 38](#_Toc297458468)

[Índice de cuadros 38](#_Toc297458469)

# Introducción

*Video mapping* es una técnica en la cual se utiliza el video como herramienta para crear y transformar espacios y superficies. Sobre una superficie se proyectan imágenes y videos el *mapping* es realizado cuando secciones de la superficie real son enmascaradas (glosario o nota a pie-> enmascarar: cubrir una sección de la superficie con un cuerpo u objeto existente en el video) con objetos que participan en el video, de esta forma se puede cubrir la ventana de un edificio con un rectángulo iluminado, generando la ilusión de una luz prendida dentro de esa habitación del edificio. Al utilizar esta técnica se pueden identificar distintos problemas a resolver, inicialmente se estudia la superficie sobre la cual se proyectará, identificando que secciones se utilizarán, se crea un modelo de la superficie, luego, utilizando el modelo y herramientas para generar efectos (glosario-> efecto: trasformación realizada a un video o imagen), el artista crea un espectáculo (glosario o nota a pie->espectáculo: definiciones de transformaciones aplicadas a objetos del modelo ideal agrupadas en un orden específico). Finalmente el espectáculo se presenta en escena el día del evento audiovisual, en esta etapa luego de ubicar los proyectores es necesario ajustar el modelo ideal con el modelo de la escena, esta correspondencia se conoce como calibración. La calibración es un problema que debe ser resuelto y es crucial en un *video mapping* para que las secciones iluminadas sean las deseadas, errores en esta etapa pueden transformar el espectáculo de *video mapping* en una simple proyección de audiovisuales. Los espectáculos pueden ser creados con distintos fines publicidad, educación, simulación, etc.

## Motivación

Las herramientas para *video mapping* estudiadas permiten realizar modelos bidimensionales de la superficie, el artista crea el espectáculo utilizando la proyección 2D de los objetos de la escena. La herramienta desarrollada en este proyecto permite la construcción de espectáculos de *video mapping*, provee de una interface que puede representar la escena en un modelo ideal con secciones 2D, 3D o una mezcla de ambos modos, de esta forma el artista puede visualizar el espectáculo en un modelo ideal tridimensional y si lo desea podrá utilizar las deformaciones dadas por las superficies en su diseño. Para lograr la interface tridimensional se estudia la construcción de modelos 3D, representación de los mismos realizando procesamiento de nubes de puntos (glosario-> nube de puntos: especificación de superficie dada por un conjunto de puntos definidos con sus coordenadas tridimensionales).

Proveer de herramientas para la calibración del modelo ideal con el objetivo de asistir al artista en el trabajo de ajuste y correspondencia del modelo ideal con la superficie de la escena.

## Descripción del problema

Construir un espectáculo de *video mapping*, con posibilidad de simulación del mismo en etapa de diseño. En el momento de diseño disponer de objetos tridimensionales que representan objetos de la escena real, en la simulación del espectáculo sobre estos objetos se refleja el impacto del espectáculo incluyendo las deformaciones generadas por la naturaleza de la superficie de la escena. Proveer de un método de calibración que asista al artista para realizar los ajustes necesarios para la correspondencia entre la escena real y la modelada.

## Organización del documento

En el estado del arte se presenta una introducción al problema de correspondencia, estudio de modelado automático de superficies tridimensionales, técnicas de construcción y depuración de estructuras que representan modelos tridimensionales. Se listan las características principales de herramientas existentes para realización de *video mapping* junto a aportes brindados por distintos artistas del medio audiovisual.

En la descripción de la solución presentamos el trabajo realizado en el proyecto describiendo funcionalidad, arquitectura, algoritmos utilizados, bibliotecas y herramientas utilizadas.

# Estado del arte

En el estudio del estado del arte se incluirán técnicas de reconstrucción de mapas tridimensionales (3D), relevamiento de aplicaciones de software existentes que permiten la realización de espectáculos de *video mapping*, y aportes de artistas del medio audiovisual.

## Reconstrucción 3D

La reconstrucción 3D de una superficie es la construcción de un modelo ideal que la representa, se define una correspondencia entre los puntos del modelo ideal y de la superficie real. En esta sección se presentan distintas técnicas y métodos que permiten la construcción de modelos ideales, discutiendo distintas características según propiedades de la superficie a representar y de la tecnología utilizada. Un conjunto de puntos, también llamado nube de puntos (Glosario) es la representación de una superficie utilizada por varias técnicas y dispositivos, utilizando procesamientos de datos se puede obtener información adicional entre los puntos, como normales que identifiquen orientación, y subgrupos de puntos que representan caras de una malla (Glosario -> malla: conjunto de vértices y aristas que definen un entrelazado que representa una superficie). La construcción del modelo ideal se presenta en dos etapas, inicialmente obteniendo puntos de la superficie y luego procesando los datos para completar el modelo.

### Correspondencia

Al calcular coordenadas tridimensionales a partir de imágenes obtenidas por capturas de video se introducen errores propios del modelo (modelo pinhole, modelo imaginario que utiliza una cámara) por ello es necesario hacer una corrección obteniendo una correspondencia entre el modelo real y el ideal. En la siguiente sección profundizamos en el concepto de calibración como método para obtener la correspondencia mencionada. Luego de la calibración las coordenadas obtenidas son en dos dimensiones, corresponden a la proyección sobre el plano imagen (Glosario-> plano imagen: plano perpendicular al eje del lente de la cámara en el cual se dibuja la imagen), para completar las coordenadas tridimensionales en el modelo ideal es necesario calcular la profundidad de cada punto, con este fin se utiliza el método de triangulación.

### Calibración

El proceso de calibración es el método empleado para lograr la correspondencia entre coordenadas tridimensionales en el mundo real con las coordenadas en el modelo ideal.

El modelo ideal que se utiliza en las cámaras es el modelo *pinhole,* éstese presenta para un caso básico, se considera que el centro de proyección (C) coincide con el origen del sistema de coordenadas, y que Z = *f* (plano imagen o plano focal).



Fig. X: Geometría de cámara *pinhole.*C es el centro de la cámara y p el punto principal.

Un punto en el espacio **X**= se corresponde con el punto X en el plano imagen, dado por la intersección del rayo que pasa por el centro de cámara y el punto **X** con el plano imagen, el punto es mapeado con en el plano imagen.

se considera que el centro de coordenadas del plano imagen coincide con el punto principal P.

El centro de proyección (C) es el centro de la cámara o centro óptico.

Proyección central utilizando coordenadas homogéneas:

Considerando la representación de los puntos como vectores homogéneos se expresa la proyección central como una correspondencia lineal entre las coordenadas homogéneas:

X

Y

Z

1

*f*X

*f*Y

Z

*f* 0

*f* 0

1 0

X

Y

Z

1

X

Y

Z

1

=

Dados X = y x = la correspondencia utilizando el método pinhole es:

x=PX

*f* 0

*f* 0

1 0

Siendo P =

Considerando el caso general en el cual el centro de coordenadas del plano de proyección no coincide con el punto principal P (las coordenadas de P son ) la correspondencia es dada según:

X

Y

Z

1

*f*X +

*f*Y +

Z

*f* 0

*f* 0

1 0

X

Y

Z

1

=

*f*

*f*

1

K =

K es la matriz de calibración, y se utilizará para obtener la correspondencia de cada punto según:

x = K [I|0] X

(siendo [I|0] la matriz identidad sumado a una columna de ceros)

X= coordenadas espaciales considerando que el centro de la cámara coincide con el origen de coordenadas del sistema Euclidiano.

x = (x, y, z) coordenadas que se buscan determinar.

En caso de considerar que el centro de coordenadas de la cámara no coincide con el origen de coordenadas del sistema Euclidiano es necesario utilizar una traslación y rotación para lograr esta correspondencia[1].

### Método de triangulación

Este método determina las coordenadas (x,y,z) de un punto utilizando la posición del punto obtenida en las perspectivas de dos proyecciones dadas.

Los centros de perspectiva y planos de proyección son conocidos [3].

Escena con dos dimensiones (2D)



Este método tiene como objetivo calcular la distancia *d* de la cámara al punto P a partir de los datos: ángulos , y la distancia *b* entre el proyector y la cámara.

El ángulo y la distancia b son dados por la calibración de la escena.

El ángulo esta dado por la geometría de la proyección.

→

Las coordenadas cartesianas quedan determinadas por:

Escena con tres dimensiones (3D)



Se asume Z=f , f plano en el cual se proyecta el punto P(), obteniendo como resultado de la proyección el punto p(x,y).

El centro óptico del proyector está situado en el eje X.

Se considera realizada una pre-calibración en la cual

se define:

P = (x,y) ,

Por trigonometría:

Los métodos que resuelven obtener la geometría de una escena tridimensional sin tener contacto físico se pueden clasificar como activos o pasivos. [4]

Los métodos pasivos son aquellos en los que no es necesario utilizar luz adicional a la luz ambiente.

### Visión estéreo

Es un método pasivo para obtener la estructura tridimensional de una escena, se utiliza el método de triangulación sin intervención de luz auxiliar, la correspondencia es establecida entre dos o más imágenes.

Los algoritmos que utilizan este método son clasificados basados en diferencias de la geometría de la imagen, distintas estrategias para resolver la correspondencia entre puntos y en las diferentes estructuras computacionales utilizadas[5].

Se realiza un pre proceso de las imágenes para identificar las principales características que se utilizarán, luego se define qué tipo de correspondencia se utilizará.

La principal desventaja de este método es que en caso de oclusión, hay regiones que no tienen correspondencia en las dos imágenes por lo tanto no se puede establecer la correspondencia de puntos, finalmente no se puede resolver el problema de correspondencia para estas regiones.

Las variantes que influyen en la geometría de la imagen son, ejes ópticos paralelos (Glosario-> eje óptico: es el eje perpendicular al plano imagen que pasa por el centro de la cámara, también llamado centro óptico) o no, paradigma binocular o multiocular.

La correspondencia entre una o más vistas de la escena se puede realizar basada en distintas estrategias que son *separate area* o *features*.

* *separate area,* basada en correlación del brillo, intensidad, se utilizan patrones de brillo aplicados a un pixel y sus vecinos (utiliza principio de localidad), diferencias en la perspectiva de la imagen o cambios en luminosidad absoluta de la escena puede generar errores.
* *features,* las características usadas para la correspondencia son aristas, puntos o segmentos dadas por cambios de intensidad de la imagen, esta estrategia es más estable ante variedad de luminosidad absoluta y en la práctica correspondencia es más rápida.

La geometría convencional estéreo tiene un par de cámaras y los ejes ópticos son paralelos entre sí, y perpendiculares a la línea base (dada por los dos centros ópticos de las cámaras).

Nota: el subíndice I significa izquierda, y subíndice D significa derecha.

### Luz estructurada

El método basado en la técnica de luz estructurada consiste en proyectar distintos patrones sobre la superficie a modelar, luego se realizan capturas de las proyecciones, analizando las deformaciones de los patrones proyectados se obtiene información de la posición (coordenadas tridimensionales), orientación y textura de la superficie [7].

Los patrones a utilizar en este método pueden ser variados se clasifican en cuatro tipos: punto (*singled scanned dot*), línea (*slit line*), grilla (*grid*) y matriz de puntos (*dot matrix*).

Dependiendo del tipo de objeto y superficie a escanear se puede tener problemas de oclusión, baja reflexión y puntos reflejados fuera del alcance de la cámara, como consecuencia, hay pérdida de puntos proyectados que no tienen proyección en el plano imagen.

Estos problemas se pueden solucionar utilizando patrones codificados adecuados. Se distinguen tres grupos de patrones clasificados según: dependencia temporal, propiedades de la luz proyectada y discontinuidad de profundidad de la superficie proyectada[6].

* Dependencia temporal:
  + Estática, el patrón es limitado para escenas estáticas, son necesarias proyecciones de varios patrones distintos. El movimiento de cualquier objeto de la escena mientras se realiza la obtención de los patrones proyectados producirá un error de correspondencia.
  + Dinámica, los objetos en la escena se pueden mover, se utiliza un único patrón de proyección.
* Propiedades de la luz proyectada:
  + Binaria, cada uno de los puntos del patrón tiene dos posibles valores codificados con 0 y 1 respectivamente. Este valor representa opacidad y transparencia, ausencia o presencia de la luz proyectada en el objeto.
  + Escala de grises, cada punto del patrón tiene asociado un valor de gris que representa el nivel de trasparencia (o nivel de opacidad) del punto para la luz proyectada. Son necesarios dos pasos, primero se obtiene una imagen de la escena iluminada con la misma luz (sin variar la intensidad), luego se obtiene la referencia de luz necesaria para cancelar el efecto de reflejo de la superficie (depende directamente del tipo de superficie). La necesidad de estos dos pasos contribuye a que este patrón también sea clasificado como estático.
  + Color, cada punto del patrón es asociado con un valor de tono. Los tonos deben ser bien diferenciados para alcanzar una segmentación eficiente. Este tipo de patrones son limitados por el color de la escena, si presenta objetos de colores altamente saturados se producen pérdidas de regiones en el paso de segmentación que luego provoca errores en la decodificación.
* Discontinuidad en profundidad de la superficie proyectada:
  + Periódica, la codificación se repite periódicamente a lo largo del patrón. Esta técnica se utiliza para reducir el número de bits que codifican el patrón,  
    como limitante la profundidad del objeto no puede ser mayor que la mitad de la longitud del período.
  + Absoluta, cada columna o fila del patrón proyectado tiene una única codificación, no sufre dependencia de discontinuidad de profundidad.

#### Sensores

### Procesamiento de nube de puntos

Utilizando técnicas de *structured light, stereo*, laser, sensores infrarojos o kinect se obtienen miles de puntos, es necesario simplificar este modelo con el objetivo de eliminar redundancia, y aumentar la velocidad en el procesamiento de los datos. Un problema adicional al tamaño de la información obtenida es que comúnmente se introduce información errónea (ruido), para superar este problema se realiza un suavizado en el procesamiento de la nube de puntos (en [Survey of Polygonal Surface Simplification Algorithms. Paul S. Heckbert and Michael Garland] se presentan distintos métodos para simplificar y aproximar superficies 3D).

Las heurísticas utilizadas se pueden clasificar como

[Efficient Simplification of Point-Sampled Surfaces. Mark Pauly, Markus Gross, Leif P. Kobbelt.

<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.19.5512&rep=rep1&type=pdf>] :

* *Clustering methods,* consta en obtener subgrupos de la nube de puntos, cada subgrupo se remplaza por un conjunto de puntos representativos en él. Los subgrupos se pueden construir de dos formas, una utilizando un enfoque incremental, en el cual los subgrupos (*clusters*) son creados por construcción de menor a mayor *(region-growing)*, otro enfoque es el jerárquico en el cual se subdivide utilizando una estrategia *top-down.*
* *Iterative simplification,* se recorren iterativamente los puntos de la nube generando contracciones de pares de puntos a un nuevo punto, se evalúa el error introducido que genera la contracción comparándolo con el error que se obtendría al contraerse con un punto vecino (el error se calcula utilizando mínimos cuadrados), se elije la contracción que introduce menor error al sistema, la finalización se puede dar por haber logrado la cantidad de puntos deseada o por superar una cota de error a introducir en el sistema.
* *Particle simulation,* se generan nuevos puntos que sustituyen la nube de puntos original, inicialmente se genera conjuntos de partículas que se mueven aleatoriamente en la superficie, luego utilizando algoritmo de *point – repulsión* se definen en las zonas que hay mayor colisiones.

En la sección Tratamiento de malla se detallan los algoritmos utilizados en nuestra solución.

Luego de simplificar la nube de puntos se construye un modelo tridimensional a partir de ella, las estructuras obtenidas son mallas de poliedros, particularmente son muy usadas las mallas triangulares, la razón principal es la simplicidad de los algoritmos que dibujan triángulos, esto permite que sean implementados fácilmente en *hardware*, otro beneficio de los triángulos es que cualquier polígono con más de tres caras puede representarse con un conjunto de triángulos [Efficient Implementation of Multiresolution Triangle Strips. Óscar Belmonte, Inmaculada Remolar, José Ribelles, Miguel Chover, y Marcos Fernández <http://www3.uji.es/~belfern/pdf/cggm02.pdf>].

## Aplicaciones para *video mapping* existentes

### Modul8



Fig. [figx]: Pantalla principal de Modul8 [ref <http://www.modul8.ch/>]

Es una aplicación diseñada para composicióny mezclado de video en tiempo real.

Una de las interfaces disponibles es una consola para manejar los efectos en tiempo real permitiendo complementar el diseño básico del espectáculo con intervenciones del vj(Glosario-> Vj : artistas que crean espectáculos audiovisuales , pueden contener intervenciones en vivo) realizadas en tiempo real.

La interfaz está estructurada en capas, en cada capa se puede agrupar efectos (manejo de audio y video) con especificaciones de los objetos particulares para la capa. Luego, la ejecución se realiza dependiendo del modo seleccionado, las opciones son: la capa activa, por capa y por conjunto de capas, las modificaciones realizadas se pueden ver de inmediato en la composición.

Los modelos visualizados sobre los que se diseña el espectáculo son representaciones bidimensionales de la escena (proyección 2D de la escena).

La arquitectura de la herramienta es modular admitiendo extensión de módulos implementados en python.

Modul8 es un software propietario disponible solo para plataforma MAC OS.

### VMDX

[refs <http://vidvox.net/>

<http://vidvox.net/wiki/index.php/VDMX> ]

Es una herramienta que permite diseño y procesamiento de efectos en audio y video en tiempo real.

Está estructurado por capas, cada capa tiene una fuete que define básicamente como lucirá, luego es modificada por los efectos aplican a la capa, la imagen resultante se unirá con la imagen resultante de las otras capas (este procedimiento se realiza en un orden dado por la definición de capas).

El gestor de capas es la interfaz disponible para crear, eliminar, agrupar y ordenar capas, luego cada capa puede ser editada, o diseñada por una interfaz particular (*layer window*) en la cual se define que tipo de capa es (posibles tipos son: película , quartz composer, variable según la fuente), que controles contiene, y efectos visuales a aplicarle.

Los distintos controles tienen sus propios editores, los cuales permiten su configuración.

El gestor de *plugins* permite visualizar los *plugins* existentes o crear nuevos, (*plugins* como módulos que permiten extender la funcionalidad).

VDMX es un software propietario disponible solo para plataforma MAC OS.

### VVVV

[ref <http://vvvv.org/>]

Es un entorno de programación gráfica para desarrollo y edición.

Tiene interfaces físicas que permiten modificación de gráficos en movimiento en tiempo real, permite la integración de audio, video y animaciones 3d.

Se maneja con un único modo para construir y ejecutar un programa, modo de ejecución (*runtime*), está continuamente calculando y procesando gráficos mientas que se está desarrollando.

Los proyectos se realizan utilizando una interfaz gráfica, definiéndose las operaciones a realizar como nodos, los *links* unen los nodos definiendo en conjunto un flujo de trabajo que representa las acciones o efectos a realizar durante el espectáculo.

Utiliza arquitectura cliente/servidor permitiendo generar un espectáculo con varios proyectores, en el proyecto se especifica para cada nodo donde se ejecutará (uno de los clientes o en el servidor).

La arquitectura es modular, provee de una interface basada en COM que permite incorporación de nodos (pueden estar escritos en c++, c#, delphi etc.)

VVVV es un software propietario (existiendo una versión sin costo para fines no comerciales). Es requerida plataforma MAC o PC.

### VPT - Video Projection Tool

[Ref <http://hcgilje.wordpress.com/VPT/>

<http://nervousvision.com/vpt/videoprojectiontool_v3.1_manual.pdf>]

VPT es una herramienta para proyección en tiempo real, aplicaciones en las que se puede utilizar esta herramienta son: para proyección de videos en formas complejas (con efectos sobre los mismos), adaptar proyecciones a superficies, combinar diseños realizados con intervenciones en vivo, proyección sobre múltiples pantallas.

Se compone de fuentes, capas, mezcladores y controladores.

Las fuentes pueden ser: 8 películas QuickTime, 1 fuente sólida (útil para colorear una capa entera), 1 fuente distorsionada (para generar texturas distorsionadas), 1 fuente de texto, 2 *live*, 1 *buffer.*

El mezclador, mezcla dos fuentes (las fuentes disponibles para ser mezcladas son películas, *lives* y *buffer*).

A una capa se le puede aplicar deformaciones, escalado o modificación de posición en la pantalla de forma independiente (como máximo se definen 16 capas).

Dispone de un editor de mascaras permitiendo la creación máscaras propias.

Una nueva funcionalidad es permitir aplicar una maya a una capa, esto permite realizar modificaciones tridimensionales al diseño, (efecto que no está disponible en las herramientas similares)<http://hcgilje.wordpress.com/2011/05/26/vpt-5-5-preview/>

Los controladores son módulos realizados para soportar OSC, MIDI etc.

Esta herramienta se puede extender incorporando nuevas fuentes.

Es una herramienta sin costo, y opera sobre Mac o Windows.

Otras herramientas útiles o complementarias para realizar video mapping son:

Arkaos, 3D Studio max, After effects, Blender, Quartz Composer, Flash Catalyst.

<http://www.arkaos.net/>

<http://usa.autodesk.com/3ds-max/>

<http://www.adobe.com/es/products/aftereffects.html>

<http://www.blender.org/>

<http://developer.apple.com/graphicsimaging/quartzcomposer/>

<http://www.adobe.com/products/flashcatalyst.html>

## Aportes

A continuación se describen los intercambios realizados con VJ’s e ingenieros con quienes por diferentes motivos, y producto de nuestra investigación del estado del arte del Video Mapping, tuvimos que contactarnos. Se les consulto sobre sus trabajos actuales, que técnicas y herramientas utilizan para producir sus trabajos, y sus expectativas en cuanto a una nueva herramienta que los pudiera ayudar a resolver problemas en los que hoy en día tuvieran que invertir mucho tiempo para resolver o directamente no la tuvieran. También se les hizo una breve introducción sobre el objetivo de nuestro proyecto para recibir sus comentarios.

Agradecemos a Marcelo Vidal, Martin Borini, Viktor Vicsek y Kyle McDonald por sus aportes.

### Marcelo Vidal

[Ref <http://vimeo.com/vjchindogu> ]

Vidal es un video jockey (o VJ?) local que se está posicionando como referente del v*ideo mapping* en nuestro medio. Es también quien ha desarrollado los espectáculos más importantes y de mas repercusión local.

Marcelo nos comenta que para sus espectáculos trabaja principalmente con modelos bidimensionales, por lo que la fase inicial de su trabajo es transformar la fachada o superficie a mapear en un modelo bidimensional. Para este propósito utiliza Afterefects, Photoshop y 3D Studio (referenciar). Fija el proyector en el lugar y con la orientación adecuada, y luego toma las formas para construir el modelo bidimensional.

Una vez modelada la escena, se realiza todo el trabajo creativo y de diseño visual del espectáculo, y una vez completado se vuelve a la escena, se posiciona nuevamente el proyector en el lugar original, y se comienzan a realizar los ajustes previos. Entre esos ajustes, se encuentra la calibración y posicionamiento del proyector. Nos indicó la dificultad existente para mover los proyectores que se utilizan, ya que pueden pesar 200 kg y no es posible realizar movimientos milimétricos para ajustes finos. Por esto último es que considera importante que luego de armar la escena siempre será necesario un ajuste o calibración del modelo de software sobre la superficie. Destaco que utiliza exactamente el mismo proyector tanto para la extracción de la geometría como para la posterior ejecución del espectáculo de v*ideo mapping*.

En cuanto al mapeo, considero muy importante poder tener la posibilidad de modificar en tiempo real el espectáculo. Las deformaciones que se producen al proyectar sobre una superficie irregular nos comentó que en el área de los VJ existen distintas ramas, una puede ser utilizar la deformación dada por la superficie junto con deformaciones de la imagen o video a proyectar para lograr un efecto en conjunto, y otra rama sería intentar modificar el video ó imagen para minimizar los efectos dados por la superficie irregular (se realizan efectos para anular las deformidades dadas por la superficie irregular), esta última opción nos indicó que en su opinión es la menos interesante en el ámbito artístico de los VJ’s. Las herramientas que utiliza para este propósito son QuickTime, Module8, VDMX y Resolume PC.

### Martin Borini

[Refs <http://vimeo.com/ailaviu>

Las principales inquietudes que nos transmitió Martin son referentes al manejo tridimensional del problema, poder conocer la deformación que se dará en las superficies profundas para utilizarlo en el diseño del espectáculo. También se mostro preocupado por el problema de la correspondencia entre el modelo tridimensional y la superficie, lo que lo lleva a interesarse en la calibración de un modelo tridimensional.

En sus trabajos realizados sobre fachadas ha tomado fotos a nivel desde el mismo lugar donde se coloca el proyector. Según su experiencia es mejor que trabajar sobre planos o medidas tomadas por él. Otro punto en el cual expresó interés fue en casos en los que se utilizan más de un proyector, solucionar el problema de las “costuras” o uniones de las imágenes proyectadas por los diferentes proyectores.

### Viktor Vicsek

[Ref <http://vimeo.com/viktorvicsek>]

Viktor es un VJ de nivel internacional y hemos establecido contacto con el observando los espectáculos de más relevancia y popularidad en Internet. Nos comento que ha implementado sus propios módulos de software para diseño, y ha implementado una mejora a la técnica de calibración automática de proyectores de Johnny Lee [ref http://johnnylee.net/projects/thesis] utilizando de cámaras en lugar de sensores de luz. Le ha resultado particularmente útil para el escaneo de grandes superficies o fachadas de edificios.

Para realizar el mapeo, utiliza VVVV [ref] para lograr los efectos de distorsiones e implemento su propia línea de tiempo de videos en Adobe Air [ref]. El proceso que comúnmente sigue es: tomar fotografías y obtener los planos tridimensionales de la escena en cuestión y la creación de mascaras según se necesite con herramientas de modelado tridimensional como 3DS Max, y el posterior mapeo de texturas de imagen o video aplicando *shaders* sobre las mascaras. Para esto último utiliza la herramienta de programación visual para mapeo VVVV. En caso de la utilización de múltiples proyectores y para resolver el problema de "costuras", Viktor aplica edge blending [ref] y homography [ref] a una máscara adicional.

### Kyle McDonald

[Ref <http://www.kylemcdonald.net/>]

Kyle fue inicialmente contactado por su implementación de código abierto de un mecanismo *Structured Light* para el escaneo de objetos tridimensionales. Nos comento que actualmente está muy interesado en trabajar con sistemas de mapeo en tiempo real. Propone la utilización de sensores infrarrojos para escanear la escena en movimiento, por ejemplo un actor o bailarín.

En relación a su implementación de *phase-shift scanning* con *Structured Light* (utilizando la técnica de Zhang's three-phase REF) nos confirma que tiene como requerimiento que la escena sea una figura continua. Es por este motivo que una cara puede ser correctamente escaneada, pero no dos objetos simples pero dispares como ser un cubo y una pirámide (esto último como caso de prueba para una fachada o superficie irregular a mapear) y nos sugirió algunas alternativas para sobreponernos a este problema. La técnica de Zhang se basa en el principio de valores de profundidad propagados a través de la superficie, por lo tanto si dos superficies son discontinuadas no puede determinar las profundidades relativas a los dos objetos de la escena. Para ello podríamos utilizar escáners que utilizan métodos híbridos basado en proyección de múltiples patrones junto con utilización de información espacial consideración los puntos vecinos en la decodificación [7] como ser BYO3D [ref http://mesh.brown.edu/byo3d/] y David-laserscanner [ref http://www.david-laserscanner.com].

# Solución planteada - VMT (The Video Mapping Tool)

## Descripción general

VMT es una herramienta que facilita la edición y posterior ejecución de un espectáculo de *video* *mapping*. Dicho espectáculo puede constar de uno o más proyectores conectados a la herramienta, pudiendo estar estos físicamente alejados unos de otros para obtener un mejor cubrimiento de la escena a mapear. Mediante un editor tridimensional centralizado se puede observar y por tanto validar lo que se ha producido hasta el momento, así como también visualizar lo que se proyectaría en cada uno de los proyectores distribuidos. Si bien es un editor tridimensional, se cuenta con conceptos de *layer* y *quad* que son construcciones bidimensionales asociados a una cámara o proyector. Se implementaron mecanismos de calibración separadamente para objetos tridimensionales y bidimensionales, utilizados al volver a trabajar sobre la escena real luego de un primer escaneo. Dichos mecanismos serán explicados en detalles más adelante en esta sección.

Las posibilidades de mapeo se dividen en efectos de degrades de colores y de texturas de imagen o video. Se cuenta también con un efecto para la animación de la posición de los objetos en tiempo de ejecución del espectáculo. Es posible visualizar en todo momento la ejecución de los efectos y su correspondiente impacto en la escena. Se permite mapear sobre zonas o *quads* disjuntos para atacar el problema de las llamadas *costuras* al utilizar proyectores cuyas proyecciones se solapan.

En lo que refiere a la línea de tiempo, todo efecto puede ser lanzado por tiempo, por eventos de teclado o MIDI, o ambos, y en diferentes momentos de la ejecución del espectáculo. Esta es navegable, permitiéndose avanzar o retroceder a un intervalo dado en el que queremos concentrarnos durante la producción del evento. Se permite agregar una pista de audio en sincronía con el tiempo transcurrido del evento.

La interfaz gráfica de usuario está basada enteramente en botoneras y ventanas de propiedades flotantes para poder tener una vista mejorada y en todo momento de lo que está sucediendo en la escena. Se proveen mecanismos para almacenar y cargar en archivos XML estándar toda la definición de la escena completa.

Adicionalmente, se provee un modulo de tratamiento de mallas con el fin de preparar una nube de puntos correspondiente a una escena real tridimensional que ha sido escaneada mediante alguno de los varios mecanismos o tecnologías disponibles para ese propósito y generar una malla triangular tridimensional manejable con la herramienta.

Tanto la tecnología de base seleccionada para la creación de los módulos de nuestra herramienta, como todas las bibliotecas de terceros que se han utilizado, permiten la compilación, link-edición y posterior ejecución en varias de las plataformas más utilizadas hoy en día como ser Microsoft Windows, Linux y Mac OS.

## Descripción de la arquitectura

### Componentes

- Procesamiento de la malla.

- Editor / server

- Nodo

- Engine

[diagrama de distribución de componentes]

### Clases

Fig. X: Diagrama de clases de vmt\_engine

[Diagrama y descripción de clases del engine]

.- diagrama y descripción de clases de de VMTNode y VMT

.- diagrama y descripción de clases de la GUI

### Colaboración

. diagrama de send message y send message all para explicar comunicación consola/nodos

. ver de agregar alguno mas para explicar algún otro mecanismo

## Descripción de los módulos

### Motor gráfico: *vmt\_engine*

Tanto la aplicación cliente como el servidor tienen como salida gráfica elementos bidimensionales y tridimensionales, ya sea en pantalla o proyectados.

Estos elementos son los que se utilizan como base sobre los cuales se mapean texturas estáticas como imágenes, o dinámicas como videos.

Una de las decisiones en el diseño de VMT fue la de separar la arquitectura en módulos reutilizables. El módulo *vmt\_engine* es utilizado tanto por la aplicación cliente como por el servidor. Este módulo es el encargado de representar los elementos gráficos y ofrece una interfaz para su manejo.

Los elementos bidimensionales son cuadriláteros y en la aplicación se llaman *quads*.

Estos *quads* se definen mediante las coordenadas bidimensionales en el plano imagen de los cuatro vértices que los componen.

Estos *quads* se pueden posicionar en la pantalla de forma tal que al ser proyectados cubran una superficie total o parcialmente. Luego, sobre estos *quads* se aplicarán texturas en forma de imagen o video, para que la proyección deforme estas texturas adaptándolas a la forma del *quad*.

Los *quads* también pueden ser utilizados como máscaras para cubrir zonas de otros *quads* o elementos tridimensionales. Estas máscaras se utilizan con la finalidad de bloquear las partes, que por la geometría de la escena, podrían estar quedando mal proyectadas e iluminando zonas indeseadas. Una máscara es básicamente un *quad* opaco de color negro, ya que el color negro es el menos visible al ser proyectado.

Los otros elementos antes mencionados son los elementos tridimensionales y representan objetos más complejos y con mayor versatilidad para realizar mapeos sobre ellos.

Estos objetos se cargan a partir de modelos en formato 3DS[The Labs: 3DS File Format, by Jeff Lewis - www.the-labs.com/Blender/3dsspec.html] y permiten cualquier geometría permitida por dicho formato.

La edición de la geometría de estos objetos es en general un tema complejo que lo resuelven bien varias aplicaciones de edición 3D como pueden ser 3DS Max[usa.autodesk.com/3ds-max] y Blender[www.blender.org] entre otros.

Estos programas, además de permitir editar la geometría manipulando vértices y caras, permiten definir materiales para aplicar propiedades comunes a una cierta selección de caras de la malla 3D [glosario]. VMT utiliza estas selecciones de caras para mapear texturas sobre ellas resolviendo de esta forma el mapeo en tres dimensiones.

El mapeo tridimensional se realiza básicamente definiendo las coordenadas de mapeo en cada vértice del modelo 3DS. Las aplicaciones de edición 3D antes mencionadas proveen herramientas para hacer esta tarea de forma muy intuitiva. Una utilidad de esto, por ejemplo, es la de definir las coordenadas de mapeo de un cilindro para mapear una textura en una columna cilíndrica.

Los elementos gráficos por sí mismos no son representables. Es necesario asignarles primero un material dentro de VMT y es a este material que se le asigna un color o una textura con la cual se representará el objeto.

En la implementación de los materiales se utilizan *shaders* [glosario] básicos que permiten combinar una textura con un color para lograr distintos resultados visibles.

Este color tiene un canal alfa [glosario] y por lo tanto se pueden lograr texturas y colores con niveles de transparencia. Estas texturas admitidas por los materiales pueden ser imágenes o videos.

Para visualizar los elementos tridimensionales es necesario definir un punto de vista. Este punto de vista junto con otras propiedades de visualización son asignadas a una cámara.

Los proyectores con los que se realiza el espectáculo de *video mapping* son representados con cámaras en vmt\_engine, aunque no toda cámara dentro de la aplicación representa un proyector.

Estas cámaras además pueden representar puntos de vista útiles para organizar el espectáculo, posicionar los objetos tridimensionales y desde dónde simular lo que visualizaría un espectador.

Las cámaras permiten ajustar sus parámetros, mediante operaciones comunes a cámaras virtuales en otros paquetes de animación por software, y a cámaras cinematográficas.

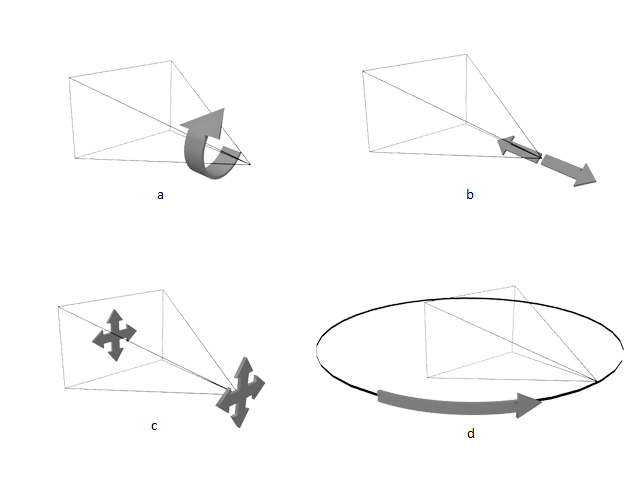
Estas operaciones representan movimientos de cámara llamados *Roll*, *Orbit*, *Dolly* y *Pan*.

*Roll* se refiere al movimiento en donde la posición de la cámara y el punto de vista son fijos y ésta rota a través del eje formado por ellos.

*Orbit* es cuando la cámara *orbita* alrededor de su punto de vista. Es decir, la posición de la cámara cambia pero siempre visualizando el mismo punto y manteniendo la distancia a este.

*Dolly* es el movimiento en donde se mantienen el punto y la dirección de vista pero se mueve la posición de la cámara acercándose y alejándose del objetivo.

Por último, *pan*, es cuando se mueve la cámara cambiando la posición y el punto de vista pero manteniendo un paralelismo con la dirección.



**Figura X: Movimientos de cámara. a) *Roll* b) *Dolly* c) *Pan* d) *Orbit***

Aparte de estos parámetros de ubicación, también existe el parámetro FOV (Field Of View) o campo de vista que es el ángulo de apertura de la cámara. Este parámetro debe coincidir con el FOV del proyector para ajustar correctamente las escenas con respecto a lo que muestra la cámara en pantalla.

Mediante estas operaciones es que las cámaras virtuales de VMT ajustan sus parámetros para que la proyección de objetos tridimensionales coincida con las superficies proyectadas.

Hay que destacar que las cámaras proveen un punto de vista solo para los elementos tridimensionales. Los *quads* no dependen del punto de vista de la cámara y se representan en un sector de la pantalla relativo a esta, por tanto, estos *quads* no alteran su posición en pantalla al ajustar los parámetros de la cámara.

Estos *quads* se organizan en *layers* o capas y en grupos.

Las capas sirven para organizar el dibujado de los *quads*. Cada capa pertenece a una única cámara de manera de representar las zonas a cubrir por un solo proyector. A su vez las capas permiten operar sobre ellas de manera de transformar todos los *quads* contenidos de forma coherente. Esto último es útil para ajustar la proyección de los *quads* en caso de mover el proyector levemente y que esta proyección deje de coincidir con las superficies.

Los *quads* se organizan también en grupos. Cada *quad* puede pertenecer a más de un grupo e incluso *quads* de distintas capas pueden pertenecer al mismo grupo.

Es necesario que un *quad* pertenezca a uno de estos grupos para poder aplicar efectos y texturas.

La idea detrás de esto es proveer un nivel más de abstracción para permitir mapear texturas a superficies cubiertas por más de un *quad* de la misma forma que se aplicarían a un solo *quad*.

Los grupos también permiten variar de forma limitada la forma en que se mapean las texturas a los *quads* componentes. Estas pueden ser mapeadas por cara en donde a cada uno de los *quads* se le mapeará toda la textura, o también de forma “plana”. Esto último significa que la textura será mapeada al conjunto entero de *quads* como si estos fueran trozos de un *quad* de mayor tamaño compuesto por todos ellos.



Fig.X: Izquierda: Proyección plana. Derecha: Proyección por cara.

Con estas variantes de proyección se le dan más posibilidades a un artista para lograr los efectos utilizados normalmente en espectáculos de *video mapping*.

El motor gráfico también contiene los efectos que se ejecutarán durante el espectáculo.

El motor acepta como un efecto la asignación de texturas en forma de imagen o video ya sea a grupos de *quads*, o a objetos tridimensionales. Este es el efecto más básico pero también el más potente para realizar una gran variedad de resultados al mapear texturas sobre superficies.

La variedad y la complejidad está en la creación de los recursos de imagen o video que se deseen mapear. Al permitirse mapear estas texturas sobre objetos tridimensionales, no es necesario distorsionar la forma de los videos sino que será el motor que los adaptará a la forma del objeto que está siendo mapeado.

Otro efecto que soporta el motor es el llamado *fade* que realiza una animación en el color de un material, desde un color inicial hasta el resultado final.

Este efecto puede ser combinado en un objeto que ya disponga de una textura y así permitir por ejemplo su atenuación o resaltado.

La duración del *fade* es configurable para cada una de las instancias del efecto.

El otro efecto soportado es la animación de la posición de un objeto tridimensional. Esta animación es lineal entre un punto de origen y uno de destino y la duración de esta es configurable también.

Hay que aclarar que mientras los efectos no están siendo ejecutados, se mantiene el estado con el que ya venía la escena.

Un punto de extensión en el motor es la creación de más efectos genéricos como pueden ser animación de rotación, escala, modificadores de objetos tridimensionales, etc.

Como se mencionó anteriormente, una de las tareas principales del motor gráfico es la representación en pantalla o la proyección de los elementos gráficos.

La implementación del dibujado en si se realiza en un bucle llamado *main loop* o bucle principal, que se encarga de actualizar todos los objetos de la escena de ser necesario, procesar los eventos pendientes y finalmente dibujar el resultado. Esto es un proceso cíclico que se repite varias veces por segundo.

En cada uno de estos ciclos se generan los *frames* que son las imágenes que se muestran como resultado final.

Para dar la ilusión de continuidad, la frecuencia de estos ciclos debe ser alta. En el caso de *vmt\_engine* ésta se predetermina en 60 ciclos por segundo aunque alcanzar ésta frecuencia dependerá de varios factores como cantidad de *quads*, tamaño de texturas utilizadas, capacidad de procesamiento y memoria de los equipos.

Si esta frecuencia se encuentra muy por debajo de estos 60 ciclos, la reproducción del espectáculo no será fluida y se podrían presenciar saltos o pausas.

Para que esta frecuencia se logre efectivamente es necesario que el procesamiento de cada uno de estos ciclos sea eficiente. Esta eficiencia se logra reduciendo el costo de procesamiento en las tareas más consumidoras del *main loop*.

Básicamente el *main loop* implementado funciona de la siguiente manera:

Pseudo-código del *main loop*

Posicionar cámara

***para todo*** objeto3d en la escena:

***para toda*** selección de caras:

cargar material

dibujar caras con el material

fin

fin

Reset cámara

para todo quad

cargar material

dibujar quad

fin

Los cuellos de botella en este tipo de *main loop* son varios.

La carga de materiales implica copiar una textura a la zona de la memoria de video correspondiente para utilizarla. Esto podría ser un proceso lento si no se disponen las texturas precargadas en memoria. Es por esta razón es que las texturas se cargan desde un comienzo en memoria y luego se utilizan referencias para identificarlas y asociarlas a una unidad de textura de OpenGL [www.opengl.org/wiki/Texture] para finalmente poder utilizarla.

Otra optimización es el uso de *shaders* para el cálculo del resultado visual final de las texturas combinadas con el color ambiente y la iluminación de la escena.

Los *shaders* son programas que se ejecutan en los procesadores gráficos y tienen como ventaja que son altamente paralelizables, permitiendo realizar cálculos de forma más rápida.

VMT utiliza el lenguaje de *shaders* GLSL [www.lighthouse3d.com/opengl/glsl].

La visualización fluida de un espectáculo de *video mapping* es difícil de prever ya que, como se puede ver en el main loop, los tiempos de ejecución dependen de la cantidad de materiales, caras, objetos y *quads* incluidos en la escena.

Si se utilizan videos en las texturas, la compresión y resolución de estos también afecta la fluidez del espectáculo. Para lograr mayor fluidez estos videos deben estar descomprimidos o con una baja tasa de compresión.

Lo mismo ocurre para formatos de imagen con compresión aunque esto afecta en menor medida a la reproducción del espectáculo.

### Multi proyector

Uno de los puntos fuertes de VMT es la posibilidad de editar y visualizar un espectáculo de *video mapping* utilizando más de un proyector.

Esta multi proyección se puede lograr con diferentes esquemas de conexión.

La forma más común de conectar varios proyectores es con más de una salida de video desde el mismo nodo cliente. Esto se puede hacer con una tarjeta de video con más de una salida, conectando cada proyector a una de estas salidas. Luego, se configura el sistema operativo para que extienda la resolución en las múltiples salidas y de esta forma se dispondrá de un área de trabajo mayor. Los diferentes sectores del área de trabajo serán desplegados por los proyectores conectados.

La aplicación cliente de VMT permite al inicio indicar la resolución y la posición en pantalla en donde se desplegará. Controlando estos parámetros es que se permiten distintas variaciones en la configuración interna de la aplicación y en la disposición de los proyectores.

Otra forma de lograr varias salidas es conectando un dispositivo como las tarjetas DualHead2Go o TripleHead2Go [www.matrox.com/graphics/en/products/gxm/] y de esta manera conectar dos o tres proyectores a partir de una única salida de la tarjeta de video. El resultado es similar al anterior, extendiendo el área de trabajo a la resolución duplicada o triplicada.

Estas variantes en la forma de conectar los proyectores son útiles cuando se desea proyectar sobre una superficie tan extensa que un solo proyector no pueda abarcarla completamente. En cambio, si queremos proyectar distintas zonas de la escena, no conectadas entre sí, lo ideal es ejecutar distintas instancias de *vmt\_client*, cada una representada por una cámara virtual diferente dentro de la escena. Estas distintas instancias de *vmt\_client* se pueden ejecutar en un mismo equipo o en equipos diferentes conectados en red.

Este esquema de conexión le da una flexibilidad extra a VMT ya que permite desplegar equipos muy alejados entre sí. La forma de conectar estos equipos es a través de cualquier medio que permita establecer una conexión a la red como puede ser cable UTP o incluso de forma inalámbrica por WIFI.

### Calibración

VMT ofrece la capacidad de calibrar las cámaras virtuales para que la proyección reflejada por los cañones se corresponda y ajuste a la geometría de la escena.

Como se mencionó anteriormente, VMT permite trabajar simultáneamente de forma bidimensional y tridimensional. Cada uno de estos modos de trabajo requiere calibrar las cámaras virtuales de forma diferente.

La calibración tridimensional se basa en hacer coincidir los parámetros de posición, orientación y proyección de las cámaras virtuales con los de los proyectores físicos. Este ajuste de parámetros se realiza manualmente por el usuario, utilizando los movimientos de cámara antes mencionados.

Esta calibración es necesaria hacerla de forma independiente en cada uno de las cámaras virtuales y proyectores.

Por otra parte, la calibración bidimensional se basa en ajustar todos los *quads* de una capa de forma conjunta.

Inicialmente, al preparar el espectáculo, los *quads* son posicionados en pantalla para cubrir las áreas de interés a proyectar. Luego de este posicionamiento inicial, cualquier movimiento en los proyectores causará que se desajuste simultáneamente la proyección de todos los *quads*. Si ocurre un desajuste se hace necesario reposicionar los *quads* para que vuelvan a cubrir las áreas a proyectar.

VMT ofrece la posibilidad de ajustar todos los *quads* pertenecientes a una misma capa de forma simultánea aplicando una transformación llamada homografía.

Esta transformación es la que ocurre naturalmente en la proyección al variar la posición u orientación del mismo por lo tanto es necesario aplicar la transformación inversa para que los *quads* se ajusten nuevamente a las superficies.

### Tratamiento de malla

Los dispositivos de captura de información tridimensional estudiados entregan la información en forma de nube de puntos (ref a Kyle, kinect y Sensores del chino). Es por ello que previo a la manipulación de la información tridimensional, es necesario procesar dicha nube de puntos para convertirla a formatos más manejables, como por ejemplo mallas triangulares.

Un típico procesamiento de malla, ya estudiado e implementado en bibliotecas como VcgLib o CGAL [9]: dada una nube de puntos de entrada, realizar un sub-muestreo y suavizado de la misma, calcular las normales en cada punto de la nube y finalmente, aplicar algoritmos de reconstrucción de malla.



Figura: Típico flujo para el procesamiento de nubes de puntos (fuente: CGAL)

Para la implementación de este modulo, se utilizaron algoritmos incluidos en VcgLib. Para visualizar y evaluar los resultados esperados se utilizo la aplicación de código abierto para la manipulación de mallas tridimensionales en diferentes formatos MeshLab [10]. Particularmente, se utilizaron los algoritmos de muestreo *Poisson-disk* para reducir y normalizar los puntos de la malla inicial, *Normal Extrapolation* para el cálculo de normales y reconstrucción de superficies de *Poisson* para la reconstrucción de la malla final.

#### Muestreo Poisson-disk

El muestreo o sorteo de variables aleatorias es una técnica utilizada para una gran variedad de aplicaciones graficas, incluyendo dibujado (*rendering*), procesamiento de imágenes y de geometrías.

Particularmente, el muestreo Poisson-disk se utiliza para ubicación aleatoria de objetos en mundos artificiales, algoritmos de texturas procedurales y procesamiento de geometrías o mallas. Esta técnica genera conjunto de puntos con las siguientes propiedades*: puntos suficientemente juntos, pero con la restricción de no estar más próximos unos de otros que una distancia mínima R predeterminada*.



*Figura: a) Posición x e y generadas aleatoriamente. b) Imagen dividida en celdas. Puntos aleatorios generados en cada celda. c) Muestreo Poisson-disk en 2 dimensiones.*

En líneas generales, este algoritmo genera puntos alrededor de los ya existentes en la muestra, y valida si pueden ser agregados al conjunto final en caso de no violar la regla de la mínima distancia a los vecinos. Se genera una grilla en 2 o 3 dimensiones dependiendo del escenario de aplicación, en la cual cada celda contendrá al final del proceso a lo sumo un punto. Una grilla adicional es utilizada para realizar búsquedas rápidas, y dos conjuntos de puntos son mantenidos durante el procesamiento para poder diferenciar los que han sido generados y los que aún necesitan procesamiento.

La implementación de VcgLib utilizada recibe 3 parámetros:

* La cantidad de puntos en la muestra. En este caso el radio o parámetro de cercanía es calculado en base a este parámetro.
* El radio, que es a su vez utilizado para calcular el tamaño de la muestra optimo en base a la malla inicial.
* Sub muestreo: indica si la muestra de Poisson es un subconjunto de la muestra inicial o si se deberán generar nuevos puntos aleatoriamente.



#### Reconstrucción de normales

Este algoritmo computa las normales en cada elemento de un conjunto de puntos sin la necesidad de explorar la conectividad de los triángulos. Por ello es que es muy útil para objetos tridimensionales sin información de caras (*faces*).

Se detalla un pseudocódigo del método:

***Paso 1: Identificar los planos tangentes para aproximar localmente la superficie y estimar así los vectores normales***

 Para cada vértice:

Calcular el centro geométrico (*centroide*) del plano tangente en el punto como el promedio de los K puntos más cercanos.

Calcular la normal asociada al centro geométrico. Se utiliza la matriz de covarianza en el punto contemplando los mismos K vecinos más cercanos de la muestra y los valores y vectores propios de la matriz de covarianza. Finalmente, ordenando los vectores propios, la estimación del vector perpendicular corresponde al vector propio de menor valor. Este método es conocido como PCA (*Principal Component Analysis*).

***Paso 2: construir grafo donde cada punto está conectado a los K vecinos más cercanos (grafo de Riemannian)***

Se crea un grafo en cuyos nodos se guardan todas las aristas a los K vecinos más cercanos. Cada arista se pesa con el valor absoluto del producto escalar de la normal en el punto con la normal en cada uno de los K vecinos:

*fabs(nodoActual->normal . K\_Vecinos[n]->normal)*

***Paso 3: calcular el árbol de expansión mínimo (MST) sobre el grafo de Riemannian y recorrerlo para orientar las normales***

Dado un grafo conexo, no dirigido, con sus aristas con un peso asignado, se llama árbol de expansión mínimo al sub-grafo con forma de árbol que conecta todos los nodos con un peso total mínimo. Contiene todos los nodos del grafo inicial. El grafo de entrada es el construido en el paso enterior y se utiliza el algoritmo de Kruskal, uno de los varios algoritmos que resuelven el problema de encontrar un árbol de expansión mínima de un grafo (referencias).

Una vez construido el MST, lo único que se hace es recorrer el árbol en orden y corregir el sentido de los vectores normales (multiplicando por *-1.0f*) en caso de ser necesario. La condición para efectuar dicha corrección se basa en el ángulo del nodo siendo inspeccionado versus todas las direcciones de las normales de los vecinos conectados a dicho nodo.



#### Reconstrucción de malla de Poisson

Finalmente, para reconstruir la malla a partir de la nube de puntos y sus normales se utiliza el algoritmo de Reconstrucción de Poisson.

Se computa una función indicador en 3 dimensiones definida de la siguiente forma:

Luego, se obtiene una reconstrucción de la superficie mediante la extracción de la *ISO-surface* (superficie de nivel en 3 dimensiones) al nivel apropiado.

La clave está en que hay una estrecha relación entre los puntos orientados (con sus normales) de la muestra y la función indicador de la muestra. Específicamente el gradiente de la función indicador es un espacio de vectores que valen cero casi en todo el espacio excepto en puntos cercanos a la superficie, donde es igual al vector normal a la superficie.

Es por eso que puntos orientados, pueden ser vistos como muestras del gradiente de la función indicador del modelo tridimensional en cuestión. Y es por este mismo motivo que el problema de reconstrucción de una malla puede ser visto como un problema de Poisson estándar: computar la función escalar F cuyo Laplaciano (o divergencia del gradiente) se iguala a la divergencia del espacio de vectores de las normales.



#### Pruebas y resultados

Para validar el correcto funcionamiento de esta técnica utilizando los tres algoritmos descritos, utilizamos una malla inicial de 5021 vertices y 9608 caras triangulares. Cabe destacar que si bien se ha mencionado que la malla de entrada debe ser simplemente una nube de puntos, se pueden utilizar mallas con caras, solo que estas serán ignoradas e incluso removidas de la malla de salida del primer paso del procesamiento (Poisson-disk sampling).

Luego de experimntar con varios juegos de datos iniciales durante varias ejecuciones del procesamiento, se fijaron de manera personalizada para la malla de entrada algunos parámetros clave. Dado que la muestra inicial tiene alrededor de cinco mil puntos, elegimos cinco mil como cantidad de muestras para el algorimso de Poisson-disk. Luego, para la extrapolación de normales se utilizaran K=15 vecinos para la toma de decisiones locales de aproximación.



La aplicación de estos algoritmos resultó ser lo esperado, en términos estructurales de cada malla procesada en cada uno de los paso. No se llego a procesar mallas de ambientes tridimensionales escaneados para luego ser mapeados con la herramienta.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Fase** | **Vértices** | **Caras** |
| Nube inicial | 5021 | 9608 |
| Luego Poisson-disk | 1776 | 0 |
| Luego Extrapolación Normales | 1776 | 0 |
| Luego de Poisson-recontruction | 1959 | 3910 |

Tabla: Comparacion de estructura de mallas de entrada y salida en cada fase.



Figura: 1) Nube de puntos inicial con 5021 vértices. 2) Resultado de muestreo Poisson-disk con 1776 vértices. 3) Luego de extrapolar normales y reconstruir la malla con 1959 vértices y 3910 caras.

Se observaron buenos tiempos computacionales de respuesta. Si bien la malla utilizada no es de un tamaño considerable, estamos hablando de algoritmos de orden relativamente alto.

### Calibración

Calibración 2D (homografía)

Calibración 3D (ajuste de cámara)

### Interfaz gráfica de usuario

Para la estructura definida de escena o show, la interfaz grafica cuenta con formularios sencillos de altas, bajas y modificaciones para todos los tipos de objetos existentes. Se diseñó en base a barras de herramientas flotantes de forma de poder tener visibilidad de la escena en todo momento y observar así cómo los cambios efectuados impactan sobre ella.



Figura: Vista general de la interfaz de usuario

Al inicio se cuenta con una vista grafica de la escena desde el punto de vista de la cámara activa, una vista de los objetos contenidos en la escena, la lista de definición de efectos y una línea de tiempo con las listas de efectos por tiempo y por evento.

En la ventana de escena se manejan los objetos bidimensionales y tridimensionales, cámaras, luces, capas y los nodos distribuidos del *show*. También es desde donde se ejecuta la calibración de las cámaras-proyectores. Para la visualización de la escena, se ofrecen diferentes modos de cámara para girar u orbitar alrededor del centro o moverse en cada uno de los ejes.



Figura: ventana para manejar la escena

#### Cámaras, Capas y Quads

Las cámaras tienen todas las propiedades usuales que se pueden encontrar en paquetes de software de animación tridimensional como ser Posición, *Eye*, Up, FOV (*Field of View*), Aspecto, *Near, Far*, etc.



Figura: Dialogo de propiedades de Camara

Se han modelado los proyectores como cámaras con marcas especiales, por lo cual a cada cámara se le puede indicar además si de lo que se trata en realidad es de un proyector. Esto permite contar tanto con cámaras para las cuales lo que veamos será lo que efectivamente saldrá proyectado, como también poder tener cámaras sin proyector asociado que nos permiten tener una vista en perspectiva de la escena para por ejemplo, experimentar como se vería el *show* desde el punto de referencia de un cierto observador.

Existen también acciones para seleccionar los tipos de movimiento de la cámara activa. Estos son:

* *Roll*: posición y punto de vista fijos. Se rota alrededor del eje formado por ellos.
* *Orbit*: distancia al punto de vista fijo. Se orbita a dicha distancia alrededor del punto de vista.
* *Dolly*: punto y la dirección de vista fijos. Se mueve la posición de la cámara acercándose y alejándose del objetivo.
* *Pan*: distancia al plano de la imagen fija. Se mueve cualquier dirección pero en plano paralelo al de la dirección.



Figura: Acciones para seleccionar modo de movimiento de la cámara activa.

Una vez activado el modo de la cámara, manteniendo presionado el botón izquierdo del ratón, al moverlo se mueve la cámara acorde al modo seleccionado.

Cada cámara es a su vez un contenedor de capas o *layers.* Su propósito es manejar todo lo que es mapeo sobre estructuras bidimensionales, y por ello son los contendores de *quads* bidimensionales sobre los cuales se pueden realizar todas las operaciones y efectos de mapeo disponibles.

Figura: Propiedades de los objetos *Layer* y *Quad*

Ambos objetos tienen propiedades editables, en tiempo de edición o durante el *show*, para mostrarse u ocultarse completamente. Si se oculta una capa, todos los *quads* de la misma también serán ocultados. En caso de mostrarla, todos los *quads* visibles volverán a mostrarse.

#### Objetos tridimensionales

Se permite agregar objetos tridimensionales con formato de malla triangular del tipo 3DS [ref 3D-Studio File Format (.3ds) - Autodesk Ltd. - http://www.martinreddy.net/gfx/3d/3DS.spec ]. Para satisfacer los requerimientos actualmente definidos, solo fue necesario permitir la modificación del identificador y la posición de un objeto tridimensional.



Figura: Dialogo de propiedades de objeto tridimensional

#### Efectos

Se proveen ventanas flotantes tanto para la creación de efectos de forma estática, esto es, la definición de qué es lo que hace o modifica el efecto en la escena, como para la asociación efecto-tiempo o efecto-evento en la línea de tiempo o en el show respectivamente. Si un efecto es definido para ser desplegado en un instante dado (efecto-tiempo) este se podrá visualizar cuando la línea de tiempo pase por ese instante dado. En caso de ser definido por evento (efecto-evento) este será visualizado cada vez que el evento asociado suceda.

Los tipos de efectos posibles son *de posición*, *degradé de color* y *mapeo de texturas*.

Los efectos de posición son aplicables a objetos tridimensionales solamente, y lo que permiten es animar el objeto moviéndolo de una posición inicial a una final. Es posible definir una demora en la ejecución del efecto comenzando en el instante en el que debería ser mostrado (al pasar la línea de tiempo por el instante definido si es un efecto asociado a tiempo o al reconocerse el código de evento del efecto si es lanzado por eventos).



Figura: Dialogo de definición de efecto de tipo posición.

Los efectos de degradé solo son aplicables a grupos de *quads* y lo que permiten es pintar todos los *quads* del grupo de un color inicial e ir pasando por toda la gama de colores intermedios hasta llegar al color final. Para la selección de colores se utiliza un dialogo nativo para ese propósito. También es posible definir una demora al lanzar el efecto.



Figura: Dialogo de definición de efecto de tipo degradé o *fade*.

Los efectos de tipo textura son aplicables tanto a grupos de *quads* como a objetos tridimensionales. Se pueden definir texturas de tipo Imagen o Video. En ambos casos es necesario proporcionar el camino al archivo multimedia correspondiente. Para el caso especifico de un efecto de textura asociado a un objeto tridimensional, es necesario proporcionar además la cara o conjunto de caras (lista de selección de *faces*) sobre los cuales se va a mapear el efecto de tipo textura definido.



Figura: Dialogo de definición de efecto de tipo textura (en este caso aplicada a un grupo).

Si bien no hay un control explicito de la unicidad en los identificadores de los efectos, es recomendable no reutilizarlos. El resultado puede no ser el esperado en caso de existir más de un efecto con identificadores duplicados.



Figura: Lista de efectos definidos en la escena.

Es posible testear el efecto que se está creando presionando el botón *Test* de la lista de efectos. Esto forzara la ejecución por una única vez del efecto seleccionado en la lista.

#### Calibración

Daniel rellenar.



Figura: Dialogo para configurar y ejecutar la calibración.

#### Línea de tiempo

Tanto para la fases de producción y revisión del evento como para la ejecución o reproducción misma del *show* en vivo, es necesario contar controles estándares para el manejo de la línea de tiempo.



Figura: Diálogo con línea de tiempo y lista de efectos asociados a tiempo y eventos.

La aplicación provee una forma de iniciar el evento mediante la acción de *Start*. Se provee una vista grafica representada con una barra deslizante y una vista numérica para reflejar el avance en el tiempo en relación a la duración total del evento. Mediante la barra deslizante es posible navegar por la línea de tiempo e iniciarla visualización del evento desde un instante cualquiera. Esto último es muy útil para la fase de pre-producción del espectáculo en la cual es muy común que el usuario se quiera concentrar en una ventana de tiempo específica en la que se está trabajando.

Este dialogo también permite asociar los eventos previamente definidos tanto a un instante dado (lista *Timed events*) como a un código de evento (lista *Key events*) a ser utilizados tanto de teclado como dispositivos de entrada MIDI.

#### Nodos remotos

Para representar la red de nodos de VMT en los cuales se conectaran proyectores remotos, es preciso definir para cada nodo la IP y puerto donde estarán configurados y la cámara definida en la escena que estará asociada al proyector conectado a él.

Figura: Lista de nodos y dialogo de propiedades de nodos.

Esta información es necesaria para establecer el canal de comunicación con el proceso remoto y para deducir que información se enviara al nodo en base a su cámara asociada. Recordar que las capas o *layers* están asociadas a una y solo una cámara, por lo cual si un efecto esta aplicado sobre un *quad* o grupo de *quads*, el mismo deberá ser propagado al nodo cuya cámara sea la que los contiene. En cuanto a los efectos aplicados sobre objetos tridimensionales, estos serán enviados a todos los nodos ya que todas las cámaras de todos los nodos tienen visibilidad de la escena tridimensional, aunque esta sea desde perspectivas diferentes.

#### Cargar y Guardar proyecto XML

Se permite almacenar en archivos XML estándar una representación de todo lo que se ha definido en la escena. En el dialogo flotante de la escena se tienen el botón *Save* para persistir a archivo lo que se tiene definido en memoria hasta el momento y *Load* para cargar desde un archivo XML valido una escena previamente definida y almacenada.



Para la búsqueda de los archivos XML de escena se utilizan diálogos nativos para este propósito.

#### Decisiones de implementación

Para la implementación del modulo de interfaz grafica se siguió el patrón *Model-View-Controller*. Para cada ventana se generaron modelos que manejan los datos relevantes a cada una, impactando en el modelo general de la aplicación en caso de ser necesario.

Se utilizó *Qt Framework* [Qt - *framework* multiplataforma para la creación de aplicaciones e interfaces de usuario con APIs para C++. http://qt.nokia.com/products/] como biblioteca de base para la creación de las ventanas, sus controles gráficos y manejar tanto la comunicación que ocurre entre ventanas entre sí como con los modelos. También se hizo uso de la funcionalidad para internacionalización de las interfaces graficas, las que por el momento están tomando valores por defecto en idioma Inglés. Es multiplataforma por lo que puede ser utilizado en varios de los sistemas operativos de computadores de escritorio mas populares como ser Linux, Mac OS y Windows. Esto último era un requerimiento fuerte del proyecto y fue tenido en cuenta al tomar la decisión de incorporar a la aplicación esta biblioteca para el desarrollo de la interfaz de usuario.

# Conclusiones

## Dificultades encontradas, limitaciones y posibles mejoras

### Adquisición

### Calibración

### Conclusiones de la autoevaluación

## Prueba de desempeño

## Conclusiones

# ANEXO I – Eventos realizados

# ANEXO II - Casos de uso relevantes

[ Agregar/editar cámara, agregar efecto, agregar quad, test efecto, calibrar, schedule effect, play show, agregar audio, save/load ]

# Glosario

# Bibliografía

[1] Multiple view geometry in computer vision, capítulo 6

Richard Hartley,Andrew Zisserman

[2]

[3] http://web.yonsei.ac.kr/hgjung/Ho%20Gi%20Jung%20Homepage/Lectures/2009%20Fall%20Computer%20Vision/Handouts/7%20Structured%20Lighting.pdf

[4]IEEE TRANSACTION ON PATTERN ANALYSIS AND MACHINE INTELIGENCE, VOL. PAMI-5, NO.2 MARCH 1983

A Perspective on Range Finding Techniques for Computer Vision

[5] IEE Transactions On Systems, Man, and Cybernetics, vol19, no.6,November/dicember 1989 Structure from Stereo- A Review

<ftp://ftp.iutbayonne.univ-pau.fr/pub/perso/Gim/luthon/deposite/stereo25.pdf>

[6] RECENT PROGRESS IN CODED STRUCTURED LIGHT AS

A TECHNIQUE TO SOLVE THE CORRESPONDENCE

PROBLEM: A SURVEY

<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.163.6773&rep=rep1&type=pdf>

[7]Pattern codification strategies in structured light systems

<http://www.google.com.uy/url?sa=t&source=web&cd=1&ved=0CBcQFjAA&url=http%3A%2F%2Fciteseerx.ist.psu.edu%2Fviewdoc%2Fdownload%3Fdoi%3D10.1.1.9.5774%26rep%3Drep1%26type%3Dpdf&rct=j&q=10.1.1.9.5774&ei=Q20ZTPySNcGBlAeRpcmxCw&usg=AFQjCNFAJSc7jcpjmM0bCoMVyeNAiqIkkQ>

Joaquim Salvi Jordi Pagès Joan Batlle

[8] http://ftp.isaatc.ull.es/pub/misc/ja2002/Comunicaciones/ja02\_058.pdf

[9] VcgLib "*Visual computer graphics Library*”. <URL:http://vcg.sourceforge.net/tiki-index.php>. Biblioteca portable escrita en C++ para manipulación, procesamiento y despliegue con OpenGL de mallas triangulares. Liberada bajo licencia GPL por parte del “*Visual Computing Lab* “ (VCGLab) del "Institute of the Italian National Research Council " <URL:http://www.isti.cnr.it>.

[10] MeshLab

Software de código abierto para manipulación de mallas tridimensionales en varios formatos.

<http://meshlab.sourceforge.net/>

# Índice de figuras

# Índice de cuadros