

Sistema cooperativo de diseño en 3D

Yuhua Luo^{*}, Ricardo Galli, David Sánchez, Antonio Bennasar, Juan Fornés, Juan Carlos Serra, Juan Manuel Huéscar y Josep Gayà

Carretera de Valldemossa, Km. 7,5. 07071 Palma de Mallorca
Departamento de Ciencias Matemáticas e Informática
Universidad de las Islas Baleares

RESUMEN

El artículo presenta un sistema de diseño cooperativo en un entorno 3D virtual. El sistema incluye un editor cooperativo multi-usuario, una base de datos y una plataforma cooperativa de soporte de comunicaciones. Los usuarios pueden diseñar un mismo mundo virtual 3D desde lugares remotos simultáneamente a través de una red de comunicación. Además de la visualización cooperativa de la escena común a diseñar, los usuarios pueden modificar el diseño de forma interactiva. Las distintas versiones de las escenas pueden ser almacenadas y recuperadas de la base de datos. La plataforma de comunicaciones está implantada como módulos independientes y aíslan la aplicación de los detalles de la red de comunicaciones.

El diseño cooperativo remoto e interactivo a través de redes de comunicación de larga distancia ha sido conseguido. Los resultados de las pruebas han sido satisfactorios. El resultado ha demostrado una gran precisión, eficiencia y flexibilidad en un área de aplicación, el proceso de diseño arquitectónico. Ello resuelve muchos problemas en este sector de la industria. El sistema ha sido diseñado para que sea generalizable, con lo cual se puede aplicar a campos similares de la industria con mínimo esfuerzo.

Palabras clave: Cooperative 3D design, CSCW, interactive shared virtual environment

1. INTRODUCCIÓN

Debido a la globalización de la economía mundial, la estructura de las empresas se está volviendo más y más distribuida en áreas geográficas. Existen además áreas de aplicación en las que una estructura distribuida es esencial. Ambos casos requieren un modo de trabajo cooperativo soportado por ordenadores. Las herramientas CSCW (*Computer Supported Cooperative Working*) se están haciendo cada vez más populares.

Sin embargo, debido a la falta de herramientas de soporte y el alto coste de conexiones de red, el CSCW se limita a un

nivel primitivo en muchas áreas industriales que requieren un alto volumen de transmisión de datos. El desarrollo se limita normalmente a visualización cooperativa a través de redes de comunicaciones, mientras que la interacción con el usuario se mantiene al mínimo. Esto no es suficiente en muchas áreas de aplicación, que requieren una interacción compleja con el usuario durante una sesión de trabajo cooperativo. El diseño cooperativo en un espacio virtual 3D compartido es una de estas áreas.

Un buen ejemplo es el diseño arquitectónico y la construcción de edificios. El diseño arquitectónico y la industria de la construcción en general presentan una gran carga de datos y experimentan dificultades en la coordinación. Muchas especialidades técnicas diferentes deben trabajar estrechamente conectadas para un mismo proyecto. La comunicación con un enorme volumen de información a intercambiar entre ellas es una rutina diaria que consume una tremenda cantidad de tiempo y de esfuerzo. Mucha redundancia, reproducción y error ocurren debido a la falta de un soporte de tecnologías de la información integrada.

Para resolver los problemas presentados en áreas como el diseño cooperativo arquitectónico, es necesario un sistema cooperativo de diseño 3D. El trabajo presentado en este artículo constituye un primer intento de desarrollar un sistema de diseño 3D para trabajo cooperativo. El objetivo del sistema es permitir a múltiples usuarios diseñar una escena 3D cooperativamente a través de redes de comunicación en tiempo real. Esto significa que además de todas las características de visualización cooperativa que el sistema tendrá, éste deberá soportar una operativa plenamente interactiva y en tiempo real. El sistema fue llamado CODI (*sistema COoperativo de DIseño 3D*) [Galli97, Luo98a, Luo98b]. Este sistema ha evolucionado para adaptarse a la necesidad particular de diseño arquitectónico y forma un sistema nuevo M3D (MULTI-SITE COOPERATIVE 3D DESIGN SYSTEM FOR ARCHITECTURE). Está todavía pendiente de desarrollo completo.

El artículo presenta el resultado del trabajo de I & D de este sistema. El sistema incluye un editor cooperativo 3D, una base de datos y una plataforma cooperativa de soporte

^{*} Email: dmilyu0@clust.uib.es

a comunicaciones. Cuando utilizan el sistema, los usuarios remotos pueden mantener una sesión cooperativa. Pueden diseñar un mismo mundo virtual 3D desde lugares remotos al simultáneamente. Esta modificación cooperativa interactiva es más difícil de conseguir y es una característica clave en un sistema de diseño cooperativo remoto.

Podemos ver los componentes del sistema en la siguiente figura:

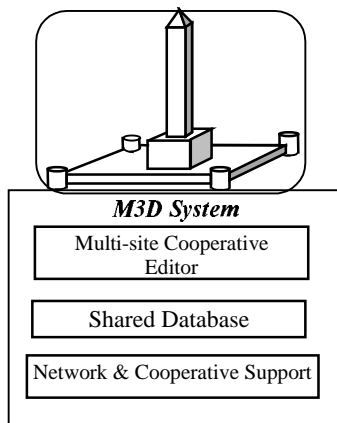


Figura 1. Componentes del sistema

El sistema utiliza una arquitectura totalmente distribuida y organizada por capas. Con la arquitectura distribuida, todas las estaciones de trabajo del sistema que participen en una sesión cooperativa tienen el mismo conjunto de recursos y réplicas de las aplicaciones, como se indica en la Figura 1. La arquitectura por capas del sistema garantiza la independencia de la aplicación respecto a las plataformas que le dan soporte. En el sistema se utilizan dos capas principales: la Capa de Aplicación y la Capa de Soporte Cooperativo. La capa de soporte cooperativo es independiente de la aplicación y de la red.

En las secciones 2 a la 4 se explican los componentes del sistema. La Sección 5 muestra algunos resultados de las pruebas. La Sección 6 concluye el artículo.

2. LA HERRAMIENTA COOPERATIVA MULTI-SITE DE DISEÑO

El Editor 3D es la herramienta central para las sesiones cooperativas de trabajo de diseño interactivo. El editor satisface los más altos requerimientos del diseño cooperativo interactivo. Las características más importantes de nuestro editor son las siguientes:

- Capacidad de edición
- Respuesta interactiva
- Control de concurrencia y consistencia

Las funciones implementadas en el sistema se describen a continuación.

2.1 Capacidad de edición

La principal función del Editor 3D es la capacidad de

editar un diseño arquitectónico. El editor puede trabajar en dos modos: modo de edición interactiva cooperativa, y modo de edición sin conexión.

El modo de edición cooperativa permite al arquitecto jefe o los jefes de proyecto dirigir una sesión de trabajo cooperativo, especialmente para la integración del trabajo de diseño de distintos especialistas. Durante una de estas sesiones de trabajo, los participantes deben ser capaces de discutir problemas específicos de diseño y de realizar modificaciones interactivamente. Por otro lado, el modo de edición sin conexión se puede usar para preparar una discusión en línea del diseño global.

Las principales funciones del editor 3D se dividen en varios grupos. Estos son: operaciones y gestión para una escena, para objetos, para entornos de la escena y gestión de la visualización, etc.

El primer grupo de operaciones es para gestionar y operar sobre una escena. Una escena aquí, en términos de VRML, se refiere a un trabajo de diseño independiente a gran escala, que normalmente corresponde a un diseño global en la construcción de un edificio.

Las funciones incluyen la apertura y guardado de una escena, visualización de la estructura de una escena y realizar una consulta sobre los objetos que contiene, etc. Hay distintas opciones para guardar un fichero. Puede ser una escena completa o una parte de ésta. Las opciones de visualización incluyen mostrar la estructura de árbol de una escena, el tipo de objeto, etc. Esto es muy útil para tratar con entradas de distintos tipos de software de CAD. Éstos tienen normalmente distintas maneras de descomponer una escena. Las opciones básicas de visualización de una escena se incluyen también en este grupo.

El segundo grupo de funciones proporciona un conjunto de operaciones sobre los objetos que forman una escena. Aquí un objeto es una pequeña unidad en el diseño. Normalmente es un elemento del edificio como una columna, una pared, etc. También puede ser cualquier grupo de elementos geométricos que ha sido definido como un objeto.

Utilizando este grupo de funciones, se puede insertar, borrar y modificar un objeto. La modificación de un objeto incluye modificar su geometría y sus propiedades, tales como color, rugosidad, textura, etc.

Hay una operación importante sobre los objetos, la selección. Dado que el Editor 3D es una herramienta de edición cooperativa, multi-usuario y multi-sitio, debemos distinguir si un objeto es seleccionado local o remotamente. La selección sirve también como operación de bloqueo. Una vez un objeto es seleccionado, es bloqueado por un participante en la sesión cooperativa. No puede ser seleccionado por otros hasta que sea liberado.

Otro grupo de funciones se refiere a la manipulación de propiedades del entorno de la escena. Estas propiedades no forman parte de la escena ni de los objetos, como por ejemplo la iluminación, los parámetros de visualización, etc. Un usuario puede colocar un tipo concreto de luces para ver el efecto de iluminación en el edificio diseñado. Los parámetros de visualización se pueden definir también para proporcionar distinta calidad en la visualización de la escena 3D. Ello ayudará a percibir mejor el trabajo de diseño en el entorno virtual 3D.

El grupo de funciones que proporciona al usuario utilidades de visualización contiene las opciones para cambiar el entorno de ventanas, añadir texto, etc. Se permite al usuario crear múltiples ventanas para visualizar la misma escena; entre ellas hay un mapa 2D que permite guiar la navegación por la escena. La manipulación virtual de la cámara se encuentra en este grupo. Cuando una ventana se crea, tiene una cámara virtual asociada con ella. Más funciones estarán disponibles en futuras etapas de desarrollo.

El editor 3D en el prototipo del sistema M3D se puede ver en la Figura 2 y en la Figura 3. La Figura 2 muestra un grupo de múltiples ventanas que visualizan el mismo diseño. El usuario es libre para escoger distintas perspectivas y distancias de visualización, para ver el trabajo de diseño. La Figura 3 muestra las proyecciones ortogonales del trabajo de diseño con la libertad de ampliar o reducir la vista. También hay una estructura de árbol al lado de las ventanas donde el usuario puede escoger un objeto en particular para visualizarlo o editarlo con el ratón.

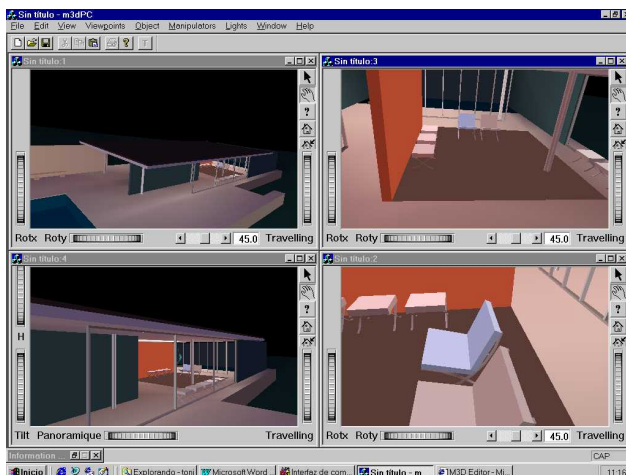


Figura 2. Múltiples ventanas para visualizar y editar el mismo diseño

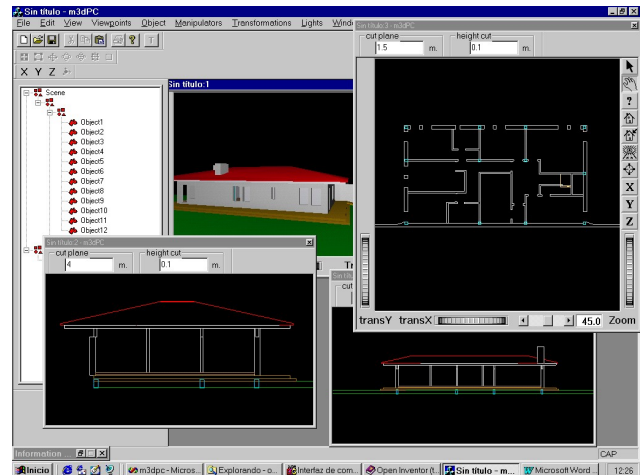


Figura 3. Proyecciones del diseño y estructura de árbol

2.2 Respuesta interactiva

Dado que el diseño interactivo y cooperativo de un mundo virtual 3D implica normalmente manipular y visualizar una gran cantidad de datos, minimizar el tráfico de red resulta vital. Esto afecta a la factibilidad del sistema entero. Si un participante modifica un objeto, y otros participantes tardan mucho tiempo en visualizarlo, o peor aún, el cambio no es visualizado nunca, el diseño cooperativo se volverá totalmente impracticable. Por tanto, el tiempo de respuesta interactiva es un requerimiento crucial que el editor debe afrontar.

Nuestra solución para afrontar este requerimiento crucial es doble. Por un lado, implementamos una base de datos en memoria totalmente replicada en cada sitio. Por otro lado, se envían mensajes de pequeño tamaño por la red para representar las modificaciones de usuario.

La razón para tener una base de datos replicada se debe al alto índice de lecturas y actualizaciones cuando se visualizan los objetos 3D. También es a causa del alto rendimiento de lecturas de memoria que se necesita para visualizar un diseño complejo. A esta base de datos replicada en memoria la llamamos *base de datos persistente*.

Enviar mensajes de pequeño tamaño es la principal estrategia para afrontar el requerimiento crucial, el tiempo de respuesta interactivo. Un protocolo especial de aplicación [Galli99] ha sido especialmente diseñado para este propósito. Este protocolo especifica la estructura de los mensajes para codificar los *eventos de usuario* y para capturar los datos modificados. Esto implica crear mensajes de tamaño relativamente pequeño para cada evento y recrear los eventos remotos localmente. Los mensajes pequeños tardarán menos tiempo en llegar a los sitios remotos. Recrear el evento localmente no depende del tráfico de red con lo que los usuarios remotos pueden tener una respuesta más rápida.

2.3 Control de concurrencia

La diferencia más importante entre un editor multi-usuario

y multi-sitio con otro de un solo usuario es la capacidad de control de concurrencia. En un editor multi-usuario, pueden ocurrir serios problemas cuando más de un miembro de la sesión de trabajo está intentando modificar el mismo objeto al mismo tiempo. Este es un problema típico del control de concurrencia.

La principal solución que hemos escogido consiste en aplicar políticas de bloqueo y operaciones orientadas a transacciones. Estas políticas están basadas en técnicas de proceso de datos distribuidos [Lynch97]. Las copias locales de la base de datos en otras estaciones de trabajo remotas son actualizadas sólo si reciben el mensaje de actualización (*update*). Para mantener la consistencia de las copias locales de la base de datos, debemos evitar posibles conflictos que pueden aparecer cuando dos o más usuarios intentan modificar la misma *región* de la escena. Las operaciones de usuario más frecuentes son el movimiento de cámara y la modificación de un objeto. Para el movimiento de cámara, no hay necesidad de asegurar ningún tipo de exclusión mutua. Sin embargo, para la edición de objetos es extremadamente importante asegurar exclusión mutua. Para evitar demoras que puedan molestar la interacción de usuarios, se toma el siguiente enfoque:

- Permitimos a un usuario modificar un objeto sólo después de que el objeto haya sido seleccionado por este usuario. La selección de un objeto implica el “bloqueo” del subárbol VRML que hay bajo el nodo seleccionado en el grafo de escena.
- Además, un objeto puede ser seleccionado sólo si ningún otro miembro de la sesión de trabajo ha seleccionado cualquier parte del subárbol al que el objeto pertenezca. Para llegar a esta condición, si un usuario realiza un intento de selección, el editor que se ejecuta en su máquina debe comunicar a los otros editores esta operación mediante el protocolo de aplicación.

En caso de conflictos, nuestra política es que sólo uno de los miembros puede adquirir el derecho. Si dos o más aplicaciones intentan bloquear subárboles que intersectan, el esquema de “timestamp” se puede usar para resolver el conflicto. El que envía el paquete con menor “timestamp” global es seleccionado como el “propietario temporal” del subárbol de escena. Aunque esta puede ser una tarea muy costosa temporalmente, ayuda a evitar retrasos posteriores cuando los usuarios editan la escena. Podemos reducir el tiempo de computación explotando una QoS que proporcione la ordenación total y casual de paquetes.

3. LA BASE DE DATOS

Para poder soportar el diseño cooperativo 3D, y para guardar toda la información durante el diseño, una base de datos ha sido implementada en el sistema [Serr99].

En las siguientes subsecciones, describimos brevemente la implementación de la arquitectura y la interfaz básica en HTML para almacenar y recuperar archivos de la base de datos.

3.1 La arquitectura de la base de datos

La base de datos utiliza una arquitectura cliente-servidor como se muestra en la Figura 4.

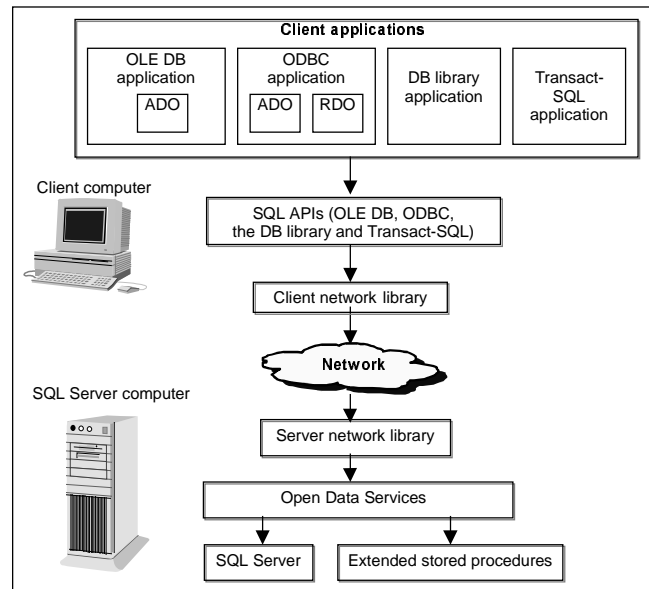


Figura 4. La arquitectura cliente-servidor de la Base de Datos M3D en SQL Server.

La arquitectura soporta un acceso multi-sitio a la base de datos. Los usuarios de la base de datos se conectan al servidor de base de datos mediante redes de comunicación. Hay dos maneras de acceder a nuestra base de datos: una es mediante el editor 3D y la otra mediante un navegador web. El editor utiliza la interfaz de programación de aplicaciones (API) para acceso a datos que SQL [Otey99] proporciona para acceder al servidor de base de datos conectando con la librería de red del cliente. La librería de red del cliente utiliza en red un método de IPC (*Inter Process Communication*) para comunicar a través de la red con las librerías de red del servidor en el sistema servidor SQL. El navegador utiliza un método similar para comunicar con el servidor de bases de datos.

3.1.1 Almacenamiento de datos

Para almacenar un nuevo documento en la base de datos, se deben especificar todos los campos de datos requeridos por ésta. Toda la información puede ser introducida mediante un CGI como se muestra en la Figura 5. Para mantener la consistencia con los datos existentes en la base de datos, se consultan distintas tablas ya existentes para verificar la petición del usuario. Toda la información obtenida del usuario es transferida a la cabecera del fichero HTTP para formar una página ASP [Wei99] [Spai96] que procese los datos. Para cada campo en el CGI se crea una estructura `<separator><CGI field><value>`.

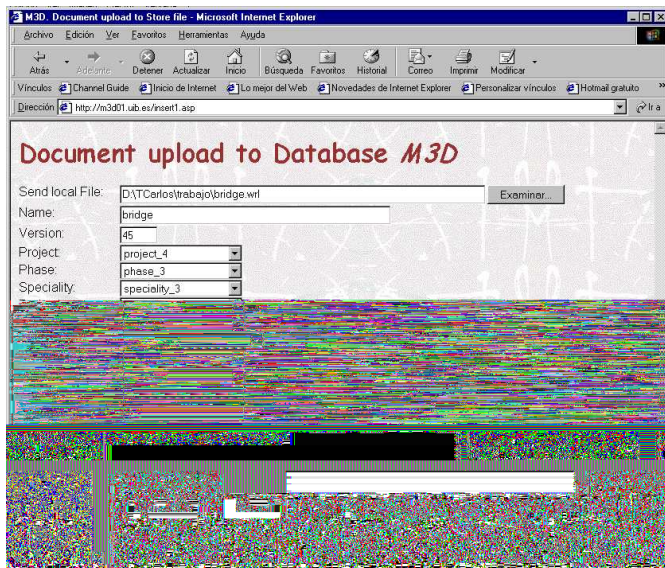


Figura 5. Almacenamiento de datos en la base de datos servidor NT SQL.

3.1.2 Recuperación de datos

Para recuperar datos, necesitamos también establecer una conexión a la base de datos. El CGI para la recuperación de datos aparece en la Figura 6.

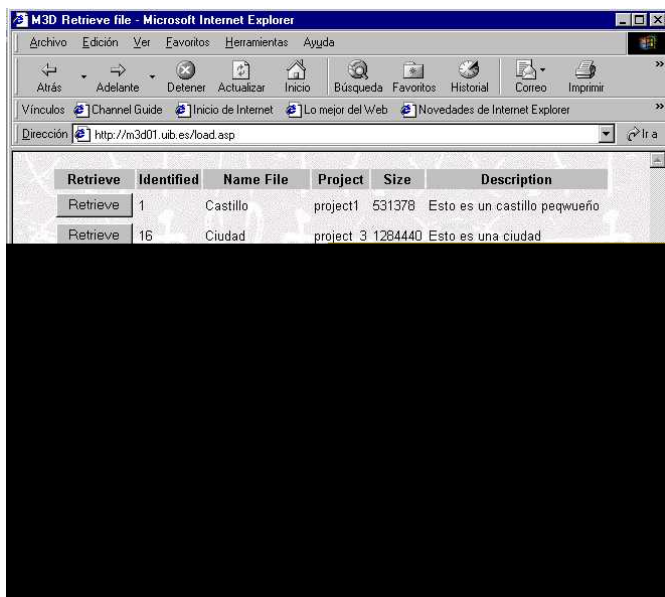


Figura 6: Recuperación de datos en el servidor NT SQL.

Una vez aparece la lista de objetos almacenados en la base de datos, podemos recuperar cualquiera de ellos. Podemos entonces visualizarlos en la ventana del navegador de acuerdo con su tipo MIME.

4. EL SOPORTE COOPERATIVO Y LA COMUNICACIÓN

El sistema de diseño 3D cooperativo es una herramienta de trabajo cooperativo en línea para un equipo de diseño de arquitectura. Proporciona la velocidad interactiva durante una sesión de trabajo cooperativo para usuarios remotos

desde larga distancia en Europa. Utilizamos un módulo para soporte de comunicaciones y trabajo cooperativo desarrollado en [Alm95] para este propósito.

El módulo permite a los usuarios compartir una o más aplicaciones de forma transparente. Emula un entorno de encuentro total, con completa conectividad e interacción a pesar de la distancia geográfica. Los usuarios se mantienen alejados de los detalles de control de la red y de la sesión. También mantiene la independencia de las aplicaciones distribuidas respecto al proceso inferior de comunicación.

La estructura del módulo de soporte de comunicaciones y trabajo cooperativo se puede ver en la Figura 7 [Luo99b]. En la figura hay tres réplicas del mismo módulo. Cada una de ellas representa un lugar remoto. El número mínimo de sitios que pueden mantener una conferencia para una sesión de trabajo es dos. En cada sitio hay dos grupos de entidades. El primer grupo es la *Joint Editing Service Platform* (JESP) que se encarga del control de sesión y de la comunicación. Tiene dos entidades estructuradas en capas: el *Session Manager* (SM) y el *Group Communication* (GC). El segundo grupo es el *meta-conferencing control platform* que se encarga del control externo sobre sesiones colaborativas en marcha. Tiene dos entidades: la *GUI* (*Graphic User Interface*) y el *GD* (*Group Daemon*).

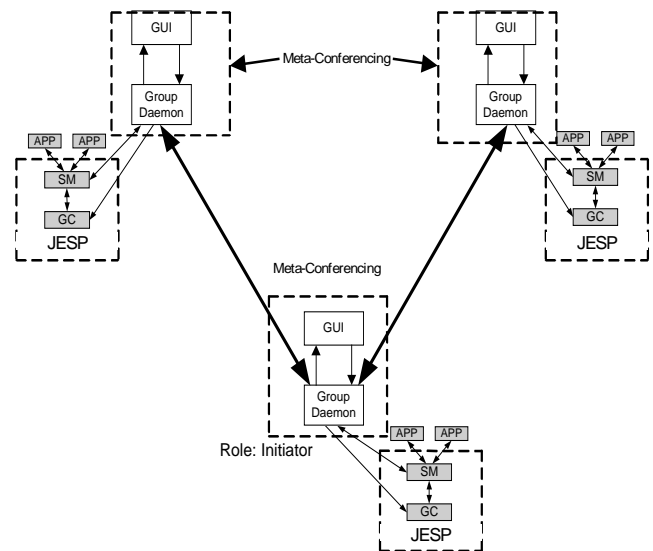


Figura 7. Estructura del módulo de soporte de comunicaciones y trabajo cooperativo

5. RESULTADOS DE PRUEBAS

El sistema ha sido probado en distintos entornos de comunicación sobre conexiones internacionales RDSI a lo largo de Europa. Las principales características de edición han sido probadas con éxito con proyectos reales de diseño 3D aplicados al diseño arquitectónico. Las medidas del tráfico de red de una de estas pruebas se muestran en la Figura 8 y en la figura 9.

Para evitar la generación de un mensaje para cada modificación de la cámara virtual hemos implementado un sistema especial de sub-muestreo (un “stream” dirigido por temporizador) para transmitir los nuevos valores a una frecuencia fija. La frecuencia fue fijada a 10 mensajes por segundo.

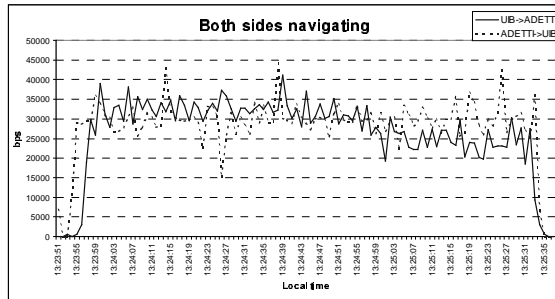


Figura 8. Navegación continua con ratón estándar.

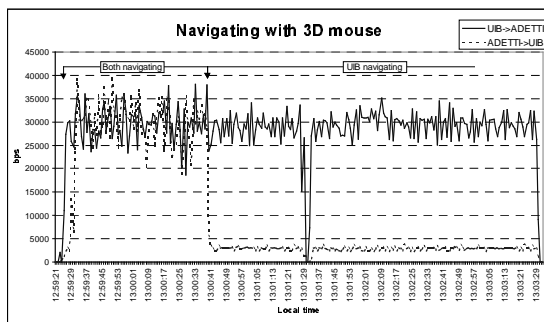


Figura 9. Navegación con ratón 3D

Aunque la edición cooperativa conlleva una enorme cantidad de datos y la distancia es larga, el resultado ha sido satisfactorio. El resultado muestra que un solo canal RDSI (64 kbps) es suficiente para sostener el tráfico de datos generado por dos usuarios realizando simultáneamente navegación continua y edición. El correspondiente requerimiento de ancho de banda no excede los 45 kbps. Esto prueba que la velocidad interactiva de un sistema de diseño 3D cooperativo, interactivo y multi-site puede ser lograda.

6. CONCLUSIONES

El artículo presenta un sistema para diseño cooperativo en 3D. La contribución técnica de este trabajo consiste, por primera vez, en proporcionar un sistema integrado para una edición cooperativa totalmente interactiva, on-line y a larga distancia en un entorno virtual 3D complejo. El sistema integrado incluye una herramienta de edición 3D cooperativa, una base de datos y una plataforma de soporte de comunicaciones y trabajo cooperativo. El resultado del desarrollo es satisfactorio. Un prototipo ha sido mostrado en Siggraph 99 en Los Angeles, U.S.A. y será mostrado en la European IST'99 Conference en Helsinki en Nov. 99 bajo invitación de la Comisión Europea. Una serie de artículos han sido y serán publicados en congresos y revistas nacionales [Ben99] [Hue99] [Sán99] [Serr99] e

internacionales. Algunos de ellos se enumeran al final de este artículo. Distintos sectores industriales que usan diseño 3D se pueden beneficiar de este desarrollo, entre ellos la arquitectura, la ingeniería civil, el diseño de programas de entretenimiento y tele-comercio, etc. En particular, aplicado al diseño arquitectónico y de ingeniería civil, esto puede llevar a un proceso de negocio totalmente nuevo. Ello beneficiará a la industria con mayor precisión, menos errores, y una reducción de tiempo y costes.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido realizado gracias a la financiación del proyecto de investigación CICYT TEL 96-0544, 1996-1999, CICYT IN 96-0151, y la continuación de financiación de CICYT, TIC-98-1530-CE, 1998-2001; Esprit Nr. 26287, M3D, 1998-2001.

REFERENCIAS

- [Alm95] A. Almeida and C. A. Belo. “Support for Multimedia Cooperative Sessions over Distributed Environments.” *Proc. Mediacomm'95*, Society for Computer Simulation, Southampton, April 1995.
- [Att94] Hagit Attiya, Jennifer L. Welch. “Sequential consistency versus linearizability.” *Transactions on Computer Systems* Vol. 12, No. 2 (May 1994), Pages 91-122.
- [Ben99] Toni Bennasar Obrador, Ricardo Galli, Yuhua Luo, Edición de objetos 3D con Open Inventor en entornos Windows NT, Actas del Congreso, IX Congreso Español de Informática Gráfica, Jaén, 16-18 de junio de 1999, GEIG'99.
- [Galli97] R. Galli, P. Palmer, M. Mascaro, M. Dias, Y. Luo, CODI - A System for Cooperative 3D Design, Proceedings of 1997 IEEE Conference on Information Visualization, pp. 286-293. London, August 27-29, 1997.
- [Galli99] R. Galli, Y. Luo, Mu3D: A Causal Consistency Protocol for a Collaborative VRML Editor, Submitted to VRML'2000.
- [Hue99] Juan Manuel Huéscar Felgueras, Ricardo Galli, Yuhua Luo, Conversion de objetos CAD en VRML, Actas del Congreso, IX Congreso Español de Informática Gráfica, Jaén, 16-18 de junio de 1999, GEIG'99.
- [Luo98a] Y. Luo, R. Galli, M. Mascaro, P. Palmer, F. J. Riera, C. Ferrer, S. F. Alves, Real Time Multi-User Interaction with 3D Graphics via Communication Network, Proceedings of IEEE 1998 Conference on Information Visualization, pp. 60-68, July 1998, London.
- [Luo98b] Y. Luo, R. Galli, M. Mascaro, P. Palmer, Cooperative Design for 3D Virtual Scenes, Proceedings of the Third IEEE International Foundation on Cooperative

Information Systems Conference on Cooperative Information Systems (CoopIS'98), pp. 373-381, August 1998, New York, U.S.A.

[Luo99a] Y. Luo et al. M3D Technical Specifications, ed. R. Galli, Esprit Project Deliverable DL 1.2, April, 1999.

[Luo99b] Yuhua Luo, Ricardo Galli, Antonio Carlos Almeida, Miguel Dias, A Prototype System for Cooperative Architecture Design, Proceedings of IEEE 1999 International Conference on Information Visualization, July 1999, London, pp. 582-588.

[Lynch97] Nancy Lynch. *Distributed Algorithms*. Morgan Kaufman Publishers, Inc. ISBN 1-55860 348-8. 1997.

[Otey99] Michael Otey, Paul Conte, SQL Server 7, Developer's Guide, Obsborne McGraw-Hill, 1999.

[Sán99] David Sánchez Crespillo, Ricardo Galli, Yuhua Luo, Un editor 3D interactivo para trabajo cooperativo, Actas del Congreso, IX Congreso Español de Informática Gráfica, Jaén, 16-18 de junio de 1999, GEIG'99.

[Serr99] Juan Carlos Serra Canals, Ricardo Galli, Yuhua Luo, Almacenamiento y recuperación remota de escenas 3D, , Actas del Congreso, IX Congreso Español de Informática Gráfica, Jaén, 16-18 de junio de 1999, GEIG'99.

[Spai96] Stephen Spainhour & Valerie Quercia, Webmaster in a nutshell, A Desktop Reference, O'Reilly & Associates, 1996.

[Wei99] A. Keyton Weissinger, ASP in a Nutshell, A Desktop Quick Reference, O'Reilly, 1999.