

Gestión de bases de datos visuales empleando sistemas de información geográfica.

Aplicación en simuladores de conducción terrestre



Maria Rodríguez-Villagrà
Antonio Carretero-Díaz
Joaquín Maroto-Ibañez
M. Luisa Martínez-Muneta

Ingeniero Industrial Mecánico
Doctor Ingeniero Industrial
Doctor Ingeniero de Control
Doctor Ingeniero Industrial

CITEF (Centro de Investigación en Tecnologías Ferroviarias). UPM. E.T.S.I.I. Dpto. Ingeniería Mecánica y Fabricación. C/ Jose Gutiérrez Abascal, 2 - 28006 Madrid. Tfno: +34 913 364269.
mrvillagrà@etsii.upm.es

Recibido: 03/10/2011 • Aceptado: 06/02/2012

DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/4428>

VISUAL DATABASE MANAGEMENT TAKING ADVANTAGE OF GIS. AN APPROACH TO LAND DRIVING SIMULATORS

ABSTRACT

- Geographic Information Systems are developed to handle enormous volumes of data and are equipped with numerous functionalities intended to capture, store, edit, organise, process and analyse or represent the geographically referenced information. On the other hand, industrial simulators for driver training are real-time applications that require a virtual environment, either geospecific, geogeneric or a combination of the two, over which the simulation programs will be run. In the final instance, this environment constitutes a geographic location with its specific characteristics of geometry, appearance, functionality, topography, etc. The set of elements that enables the virtual simulation environment to be created and in which the simulator user can move, is usually called the Visual Database (VDB). The main idea behind the work being developed approaches a topic that is of major interest in the field of industrial training simulators, which is the problem of analysing, structuring and describing the virtual environments to be used in large driving simulators. This paper sets out a methodology that uses the capabilities and benefits of Geographic Information Systems for organising, optimising and managing the visual Database of the simulator and for generally enhancing the quality and performance of the simulator.
- **Keywords:** real time, virtual reality, geographic information system, driving simulator.

RESUMEN

Los Sistemas de Información Geográfica están desarrollados para gestionar grandes volúmenes de datos, y disponen de numerosas funcionalidades orientadas a la captura, almacenamiento, edición, organización, procesado, análisis o a la representación de información geográficamente referenciada. Por otro lado, los simuladores industriales para entrenamiento en tareas de conducción son aplicaciones en tiempo real que necesitan de un entorno virtual, ya sea geoespecífico, geogenerico o combinación de ambos tipos, sobre el cual se ejecutarán los programas propios de la simulación. Este entorno, en última instancia, constituye un lugar geográfico, con sus características específicas geométricas, de aspecto, funcionales, topológicas, etc. Al conjunto de elementos que permiten la creación del entorno virtual de simulación dentro del cual se puede mover el usuario del simulador se denomina habitualmente Base de Datos del Visual (BDV). La idea principal del trabajo que se desarrolla aborda un tema del máximo interés en el campo de los grandes simuladores industriales de formación para conducción, como es el problema que presenta el análisis, la estructuración y la descripción de los entornos virtuales a emplear en esos simuladores. En este artículo se propone una metodología de trabajo en la que se aprovechan las capacidades y ventajas de los Sistemas de Información Geográfica para organizar, optimizar y gestionar la base de datos visual del simulador y para mejorar la calidad y el rendimiento del simulador en general.

Palabras clave: simulación en tiempo real, realidad virtual, sistemas de información geográfica, simuladores de conducción.

1. INTRODUCCIÓN

Los simuladores tienen por objeto reproducir determinados aspectos de un sistema industrial de forma que la interacción con el usuario sea lo más realista posible. Esta cualidad permite que sean utilizados, por ejemplo, para entrenar a los usuarios en su relación con el sistema. Grandes empresas y centros de investigación tanto extranjeros como españoles (NASA, INTA¹, INDRA², Lander³, CEIT⁴, CITEF⁵...) apuestan con fuerza por el desarrollo e investigación de los simuladores destinados a la formación. El desarrollo de este artículo se centra en la generación y organización del entorno virtual en los simuladores de conducción para formación, debido a que sus exigencias, tanto en lo referente a las dimensiones de los escenarios virtuales como al realismo visual, son muy altas, ya que el éxito de la simulación para entrenamiento radica en entrenar no sólo la parte consciente del usuario, sino también la subconsciente.



Fig. 1: Simulador vehicular: sistema de presentación y de entrada de datos⁶

Este tipo de simuladores exige una simulación en tiempo real que sea suave y realista, tanto visualmente como dinámicamente. Estas características obligan a que la visualización se realice sin variaciones bruscas en el número de imágenes mostradas por segundo, que nunca debe bajar de 30 fps (*frames per second*). Existen varias líneas de trabajo para mejorar el rendimiento del simulador manteniendo los criterios básicos de suavidad y realismo,

¹ <http://www.inta.es>

² <http://www.indracompany.com>

³ <http://www.landersimulation.com/>

⁴ <http://www.ceit.es>

⁵ <http://www.citef.industriales.upm.es>

⁶ Simulador de conducción de Metro de Madrid desarrollado por INDRA

como introducir un *hardware* más potente, trabajar con modelos de comportamiento de los sistemas más sencillos o bien optimizar la base de datos visual. Es en este último punto en el que se centra este artículo, cuyo objetivo principal es desarrollar una metodología que permita crear una base de datos visual (BDV) estructurada y optimizada, que contribuya a mejorar el rendimiento general de la simulación y con equilibrio entre rendimiento y realismo.

Centrándose en el campo de los simuladores industriales de conducción, es habitual que los sistemas de proyección empleados deban visualizar imágenes con resoluciones elevadas, por ejemplo 2048x1536 píxeles, con el fin de ajustarse a los tamaños de los parabrisas de los vehículos, ya sean de carretera o ferrocarril, y proporcionar el realismo visual necesario lo que obliga a emplear sistemas multiproyección (Fig. 2). Además, los escenarios que se muestran y en los que se realiza la simulación son, generalmente, geográficamente muy extensos y con un elevado número de elementos y por tanto de geometrías.



Fig. 2: Sistema de presentación multiproyección

Esto supone una carga de trabajo del *hardware* de procesamiento del visual muy alta, ya que, en tiempo real, debe encargarse de manejar la base de datos visual que contiene los modelos geométricos y las imágenes, realizar los cálculos necesarios para su proyección y finalmente generar las imágenes que serán mostradas al usuario durante la simulación.

Por otro lado, los Sistemas de Información Geográfica (SIG) se caracterizan por integrar bases de datos gráficas con bases de datos alfanuméricas, recogiendo en ambas las relaciones topológicas entre los elementos representados.

Este artículo presenta una metodología cuya novedad es integrar el empleo de un SIG en la gestión y optimización de la base de datos visual de un simulador. El planteamiento resumido de dicha metodología es el siguiente: los simuladores de conducción necesitan de un entorno virtual, ya sea geoespecífico, geogénico o combinación de ambos tipos, sobre el cual se ejecutarán los programas propios de

la simulación. Este entorno, en última instancia constituye una zona geográfica, con sus características geométricas específicas, de aspecto, funcionales, topológicas, etc. Si se entiende el escenario virtual del simulador como un lugar geográfico, se puede generar un SIG asociado encargado de su organización, y así utilizar las herramientas de los SIG para someter a la BDV a análisis espaciales que aumente su eficiencia, y mejore el rendimiento del simulador en su conjunto.

2. ESTADO DEL ARTE

2.1 SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG)

Un Sistema de Información es un conjunto de elementos relacionados entre sí de forma ordenada de acuerdo a ciertas reglas. En un SIG, dado que parte de la información que maneja es geográfica, esos elementos tienen además una posición en el espacio.

Los SIG están desarrollados para operar con grandes volúmenes de datos, y disponen de funcionalidades orientadas a la organización, análisis, etc. de información geográficamente referenciada, permitiendo la automatización en todos los procesos.

La capacidad de generar escenarios en tres dimensiones en un SIG todavía no está cercana a la realidad virtual [1], aunque se están dando grandes pasos hacia la creación de representación 3D y su simbología [2] [3]. Hoy en día, las bases de datos son capaces de incluir modelos de geometría en 3D, mostrar simbología 3D para representar puntos, líneas, polígonos, así como texturas realistas. En pocos años, la representación tridimensional ha sido más rápida, fácil y flexible [4].

El constante crecimiento de estos sistemas SIG 3D y su interacción con tecnologías de CAD, realidad virtual y computación gráfica, están teniendo un gran impacto en estos

sistemas, haciendo que cada vez estén más próximos. En este contexto, los modelos urbanos 3D (Fig. 3) pueden participar de forma interactiva en cualquiera de las fases de los procesos de toma de decisiones que tengan características de SIG [5] [6] [12] [13].

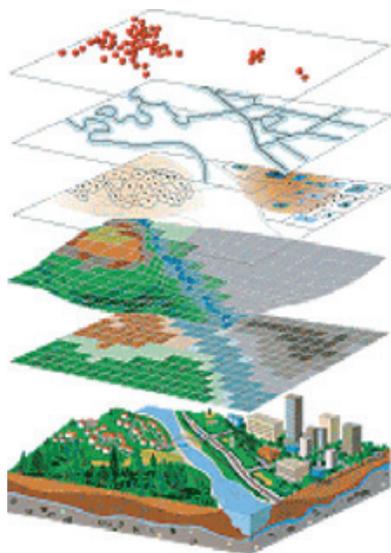


Fig. 3: Estructura de capas de un SIG urbano

2.2 REALIDAD VIRTUAL

La Realidad Virtual es un conjunto de tecnologías que permiten al usuario interactuar con un entorno simulado por ordenador de una realidad no existente por medio de *hardware* y *software*.

Lo más importante en Realidad Virtual [7] no son los avances tecnológicos, sino la creciente demanda de estas tecnologías para incrementar la productividad, mejorar la comunicación y la reducción de costes.

2.3 BASE DE DATOS DEL VISUAL (BDV)

La BDV es una colección de descripciones acerca de cómo dibujar los objetos integrantes de la escena. Debe ser interpretada por el *software* del sistema visual de modo que el visualizador permitirá, en tiempo real, la representación de los escenarios en los cuales se desarrolla la simulación.

El almacenamiento de la información del mundo virtual se realiza en la BDV del simulador, existiendo normalmente otro archivo de configuración del escenario que se encarga del montaje del entorno atendiendo a la posición del usuario, características funcionales, geométricas, de apariencia visual, etc. En este archivo se almacenan los objetos, los programas que describen sus acciones o del usuario, iluminación o control y soporte del *hardware* [8].

3. METODOLOGÍA

En la visión tradicional de los SIG estos analizan y estructuran datos que contienen información geográfica. Un simulador de conducción requiere un entorno virtual que represente un escenario por el cual el vehículo pueda moverse. Si este escenario se entiende como una localización geográfica en la que todos los elementos y atributos requeridos tienen posición espacial, se pueden aprovechar las características de un SIG asociado al simulador de conducción para la tarea de gestionar la BDV, obteniendo una mejora sustancial en el rendimiento del simulador.

3.1 BENEFICIOS DE LOS SIG 3D

Utilizar un SIG tiene beneficios evidentes:

1. Permite importar la información desde diferentes formatos y obtener una información consolidada de partida para el proyecto.
2. Es una herramienta de análisis de datos muy útil cuando una superficie necesita ser optimizada y permite realizar análisis de visibilidad desde un punto o una trayectoria.
3. Permite optimizar la carga de elementos posicionados sobre la superficie según la proximidad al usuario.
4. Permite introducir aquellos elementos ficticios que son necesarios en el entorno virtual (elementos lógicos).
5. Permite introducir atributos a las entidades geométricas, así cada elemento del entorno se encuentra localizado, y también se pueden realizar análisis por búsqueda de atributos.

- 6. Soporta la automatización de tareas empleando modelos de geoprocésamiento y genera archivos de salida necesarios al motor gráfico.

3.2 METODOLOGÍA PROPUESTA

Los entornos vehiculares y ferroviarios se caracterizan por afectar a una superficie de terreno muy extensa y con una tipología de entorno muy variada. Contienen elementos en un rango de distancia de visibilidad muy amplio, y por tanto, el detalle con el que se debe mostrar en el visualizador es muy diferente. Poseen, además, una elevada complejidad porque incluyen elementos y zonas muy heterogéneas: zonas exteriores, túneles, elementos dinámicos o elementos estáticos, etc.

Se propone una metodología de trabajo en la que se aprovechan las capacidades y ventajas de los Sistemas de Información Geográfica para organizar, optimizar y gestionar la Base de Datos Visual del simulador, y para mejorar su calidad y rendimiento en general, que será válida y exportable a cualquier tipo de entorno geográfico.

3.3 FLUJOGRAMA GENERAL DE LA METODOLOGÍA

La primera fase consiste en definir el alcance del proyecto (ver Fig. 4): extensión, calidad visual, grado de especificidad, funcionalidad, etc. Posteriormente se procede a la obtención de información gráfica, topográfica, cartográfica o semántica. Esta información dependerá de los valores de las variables fijados en la Especificación Funcional de Requisitos (EFR) del proyecto. Por ejemplo, la extensión de la información topográfica o cartográfica dependerá de la extensión fijada para el entorno virtual del proyecto. De la misma manera el tipo de información necesaria variará dependiendo del nivel de realismo y de la calidad fijada en la EFR para ese escenario virtual en concreto. En este punto, se incluye la obtención de información relacionada exclusivamente con, por ejemplo, la línea ferroviaria que se vaya a representar (como pueda ser el esquema de la línea, definición y situación de los semáforos, balizas, desvíos o circuitos de vía) o la información referente a tráfico vehicular como son los carriles, intersecciones, señales o semáforos, si se trata de un simulador de conducción en un entorno urbano, como puede ser un metro ligero. Así mismo será necesario recopilar la información gráfica, como videos y fotografías, de las zonas a representar para la generación de los elementos que se colocarán sobre la superficie (edificios, árboles, mobiliario urbano, catenarias, estaciones).

En el momento en que se dispone de la información es necesario filtrarla, depurarla y organizarla. La mayor parte de las veces los archivos vectoriales suministrados tienen numerosos errores: de cota, superposición de elementos, falta de estructuración, etc. Por todo ello, es necesario someter a estos archivos a una corrección topológica previa a su utilización. Mediante reglas topológicas (para las entidades geométricas puntos, líneas o áreas), y la posterior edición de dicha información, se corrigen la mayor parte de los errores.

Cuando se tiene la información depurada y organizada se procede a su volcado a un Sistema de Información Geográfica.

Para ello, primero se genera una base de datos geográfica o *Geodatabase*, que constituye el nivel superior en la estructura de datos, sea por ejemplo “Proyecto XX”. De ella se colgarán los *dataset* (son el segundo nivel), que agrupan la información o datos del proyecto y cuyos datos podrán ser de naturaleza y contenido diverso, por ejemplo “Topografía”, “Cartografía”, “Objetos”, “Tráfico”, “Vía”, o “Simulación”. Finalmente, y formando el tercer nivel de la estructura de datos de los *dataset*, a su vez, colgarán las *features class*, en las que el tipo de dato ya es uno concreto (punto, línea, polígono). Por ejemplo, dentro del *dataset* “Objetos” colgarán las *features classes* “Farolas”, “Arboles”, “Mobiliario urbano”, etc. En el apartado 2.5 se estudian con más detenimiento los *dataset* consideradas. La información gráfica procedente de archivos con información vectorial se importa directamente a la base de datos geográfica discriminando su colocación según su uso.

El siguiente paso, una vez se ha incluido toda la información gráfica en la geodatabase, es introducir los atributos alfanuméricos que llevan asociados cada uno de los elementos. Estos atributos variarán según la *feature class* que se esté estudiando.

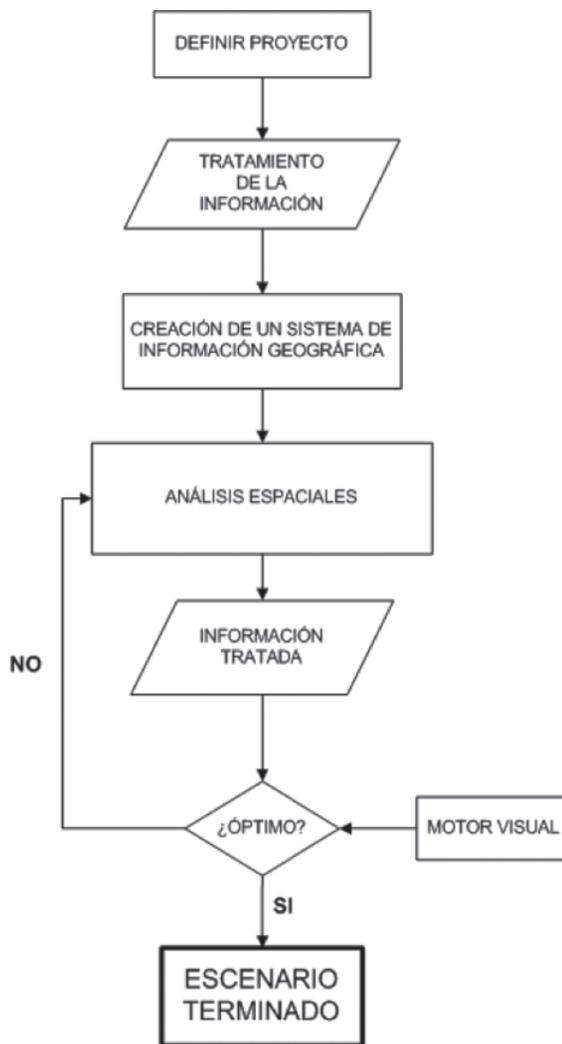


Fig. 4: Flujoograma de trabajo simplificado

En los apartados siguientes se comentarán los puntos más relevantes y novedosos de la metodología propuesta, como puede ser la generación y estructuración de la base de datos del visual, o los análisis espaciales llevados a cabo para su optimización.

3.4 GENERACIÓN DE LA BASE DE DATOS

Para comenzar a crear una base de datos geográfica se puede partir de información vectorial, tanto cartográfica como topográfica (Fig. 5). En ocasiones es necesaria la información del terreno, que puede venir dada como un modelo digital de terreno (MDT), como texto plano o como ortofotografías.

Además de la documentación anterior, y con el fin de proporcionar más realismo al entorno donde va a discurrir la conducción, es necesaria la información sobre objetos que se encuentren en la escena, independientemente de que su comportamiento sea estático (mobiliario urbano, estaciones, edificios) o dinámico (semáforos, señales de tráfico, señalización tranviaria).

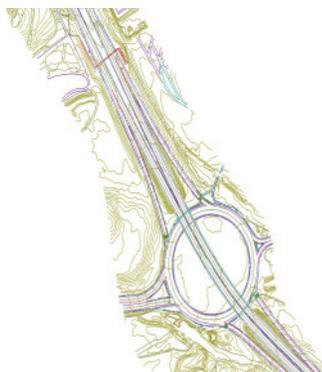


Fig. 5 Mapa vectorial de una zona específica de Madrid

3.5 ESTRUCTURACIÓN DE LA BASE DE DATOS SIG

Una vez que se tenga la información del terreno y de los elementos que conforman el entorno, se procede a su importación a la base de datos geográfica comentada en el apartado anterior. La información contenida en esta base de datos geográfica está estructurada en varios conjuntos de datos de naturaleza homogénea, que incluyen las tablas que contienen, ordenan y restringen los datos, así como las relaciones entre ellas, y todo limitado por un marco geográfico definido. Según se vio anteriormente, a estos conjuntos de datos se les denomina *datasets*. Así pues la base de datos geográfica estará estructurada en los siguientes *dataset*:

- **Topografía:** agrupa toda la información sobre el terreno existente, desde información vectorial procedente de los planos hasta los modelos digitales de terreno y ortofotografías.
- **Cartografía:** agrupa toda la información vectorial referente a los elementos construidos sobre la superficie del terreno (Fig. 6). Por tanto, de este *dataset* colgarán las feature class “Aceras” o “Edificios”.
- **Objetos:** reúne toda la información sobre los objetos colocados en la superficie del escenario virtual sobre el

que se desarrolla la simulación, ya sean estáticos y sin comportamiento (árboles, mobiliario urbano), estáticos pero con comportamiento dinámico (semáforos, farolas), o funcionales o no para los objetivos del simulador. En este *dataset* se incluye información tan diversa como la referida al mobiliario urbano o la vegetación, así como la relativa a la señalización vertical y horizontal (Fig. 6).



Fig. 6: Información del SIG referente a objetos del escenario

- **Tráfico:** engloba toda la información necesaria para la definición completa de las trayectorias por las que podrán moverse los vehículos controlados por el modelo de tráfico del simulador de conducción (Fig. 7). Esta información permitirá la posterior elaboración de los ficheros necesarios para el buen funcionamiento del simulador. Por ejemplo contendrá las feature class “Carriles” o las de “Intersecciones”. La definición de las trayectorias incluye no solamente su geometría, sino también las restricciones topológicas existentes entre ellas.

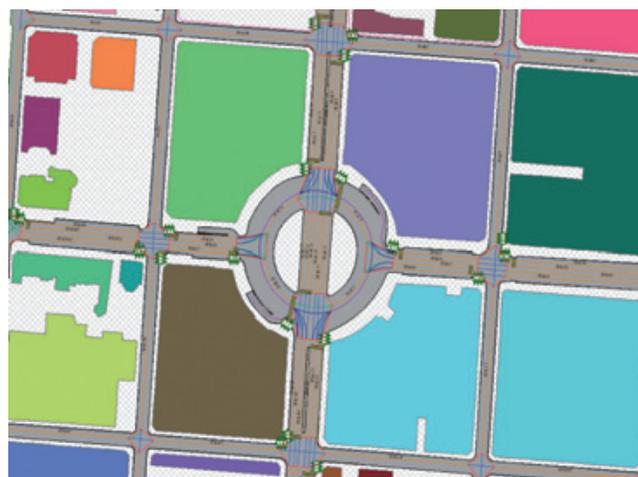


Fig. 7: Información del SIG referente al modelo de tráfico

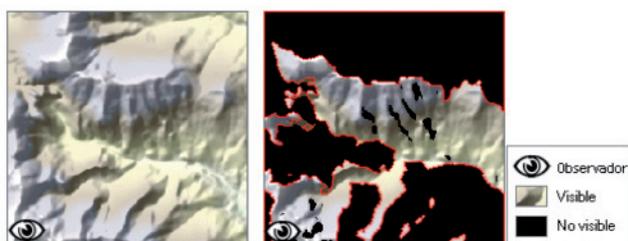


Fig. 9: zonas visibles y no visibles desde un punto de observación

- **Nivel de carga poligonal:** el objetivo de este análisis es la localización de posibles puntos negros en lo referente a carga poligonal (puntos con una carga poligonal muy elevada en relación con el resto del entorno) y en los que por tanto se disminuya el rendimiento del simulador. Estos puntos negros pueden ser debidos a una acumulación zonal de polígonos producida por un excesivo detalle en la generación del modelo 3D y/o por una acumulación excesiva de objetos que se carguen simultáneamente en un determinado punto del visual. Para este análisis se han utilizado ciertas funciones de álgebra de mapas (estadísticas focales, o reclasificación). En la Fig. 10 se observa el procedimiento para realizar este análisis.

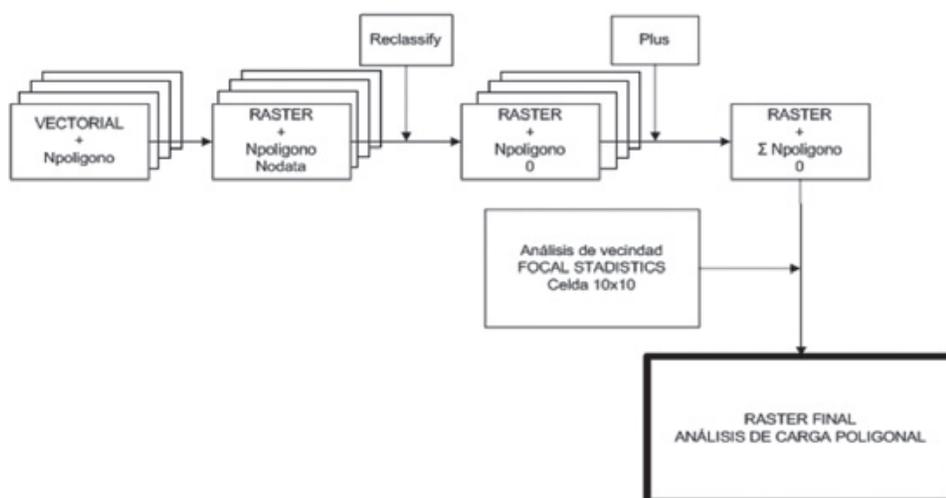


Fig. 10: Diagrama de flujo del análisis de carga poligonal

Para el análisis, se le asigna a cada elemento susceptible de ser problemático un campo o atributo con la carga poligonal asociada, y se genera un fichero *raster*⁷ con esa información. Una vez que se obtiene

⁷ Un fichero raster es una estructura matricial donde la localización espacial de cada dato está determinada de forma implícita por su situación en la matriz, una vez definidos el origen y el valor del intervalo entre filas y columnas, sin solapamiento y con recubrimiento total del área representada. Estas unidades se llaman celdas o teselas y cada una almacena un único valor.

el raster, se somete a un análisis espacial por vecindad que permite calcular otro segundo fichero raster en el que los valores de cada celda son una función de los valores de las celdas de entrada dentro de una vecindad específica, con centro en la celda de estudio. Para cada celda del raster de entrada, el algoritmo calcula el valor basándose en los valores de la celda de estudio y los valores dentro de una vecindad predefinida. Después manda este valor a la correspondiente celda en el raster de salida. Si se analiza el raster resultante se aprecian zonas más claras, que son las que presentan una mayor densidad de polígonos por unidad de área, y por tanto posibles puntos negros en la carga del entorno (ver Fig. 11). Si en un futuro se requiere la inserción de tipos diferentes de elementos, el modo de actuación sería análogo sin más que actualizar la tabla enlazada a la feature class que contiene la información de número de polígonos de cada elemento.

- **Proximidad a zonas de conducción:** Al tratarse de un simulador de conducción, el vehículo seguirá trayectorias que estarán restringidas a las carreteras o a las vías según el tipo de simulador. En el caso de simuladores ferroviarios no se tiene completa libertad para moverse por el entorno, puesto que solo se permite la circulación a lo largo de líneas predefinidas, por lo que se puede aprovechar esta característica restrictiva para optimizar la carga poligonal del entorno. Mediante la generación de buffers de las líneas de las trayectorias, se puede filtrar la información por proximidad a las zonas por las que el vehículo podrá ser conducido. De esta manera, se pueden insertar elementos con un mayor nivel de detalle en las zonas cercanas al área de movimiento del conductor y dejar los elementos de menor nivel de detalle para las zonas alejadas, a las que el conductor no se va a poder acercar (Fig. 11).

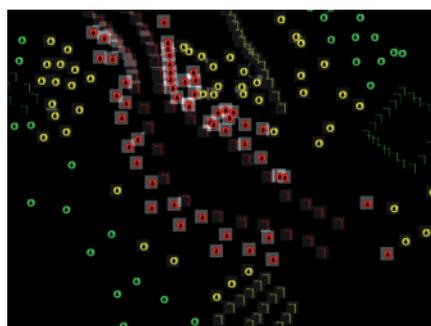


Fig. 11: Análisis de proximidad a vía y carga poligonal

4. CALIDAD Y RENDIMIENTO DEL SIMULADOR

Con el fin de validar la eficacia de la metodología anteriormente descrita, se diseñó una batería de pruebas que la comparaban con la metodología empleada anteriormente por el grupo de trabajo, en la que la generación del escenario se realizaba en base a la concatenación de elementos modulares y la organización de la base de datos del visual no estaba optimizada [15]. En estas condiciones, para un mismo entorno virtual de simulación, se contrastaban los resultados obtenidos con ambas metodologías, con los que se ponían a prueba diversos factores que influían en la simulación y que se eligieron en base a la experiencia del grupo de trabajo. La metodología modular permite generar entornos virtuales acoplando muchos objetos pequeños (poca carga poligonal) a modo de piezas de un puzzle (Fig. 12), pudiendo configurar el entorno rápidamente [14]. La metodología que se plantea en este artículo se inclina por la utilización del menor número de objetos posible pero con más carga poligonal.

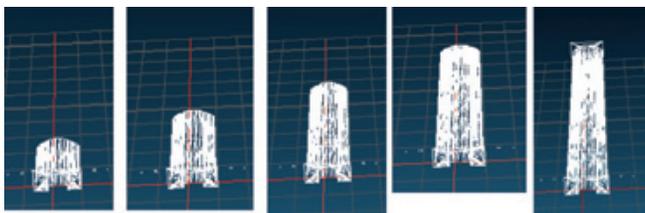


Fig. 12: Creación de un túnel mediante generación modular

Tal y como se observa en la Fig. 13 (Frame Rate vs Punto Kilométrico), el comportamiento en lo referente al Frame Rate (número de imágenes por segundo) es más estable con la nueva metodología (línea azul). Hay que apuntar que la geometría del entorno generado con la nueva metodología contiene alrededor del doble número de vértices, y la mitad del número de objetos, que el generado con la metodología anterior (línea roja). Por lo tanto, como resultados se observó que: una configuración basada en pocos objetos con mayor carga poligonal tiene mejor rendimiento que una configuración basada en muchos objetos pequeños [11]; y, además, al someter el entorno a análisis de densidad de carga y visibilidad, la carga poligonal se encuentra repartida por el escenario inteligentemente.

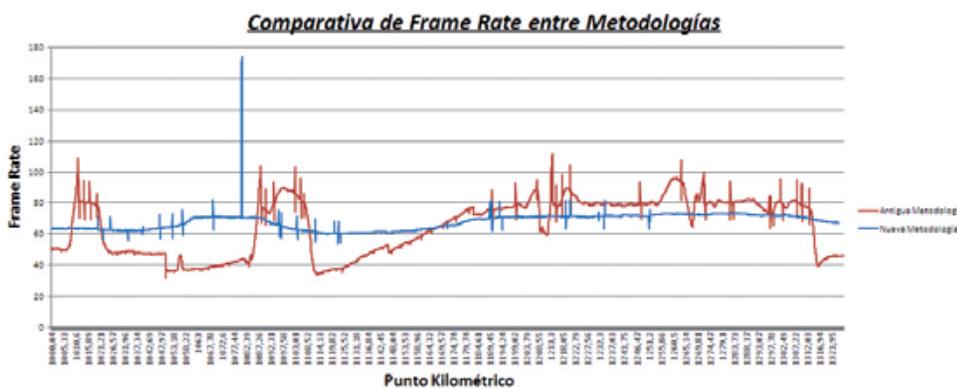


Fig. 13: Comparativa de Frame Rate entre Metodologías

4.1 VALIDACIÓN

La metodología desarrollada ha sido implementada con éxito en varios proyectos, tanto para simuladores vehiculares como ferroviarios. A continuación se muestran imágenes (Fig. 14, Fig. 15 y Fig. 16) del desarrollo de un simulador vehicular cuyo entorno virtual se extiende a lo largo del Paseo de la Castellana en Madrid, España. En la Fig. 14 se aprecia la organización de la base de datos geográfica que se generó en el SIG asociado, y donde se encuentra almacenada toda la información tanto topológica como funcional de los elementos del entorno.

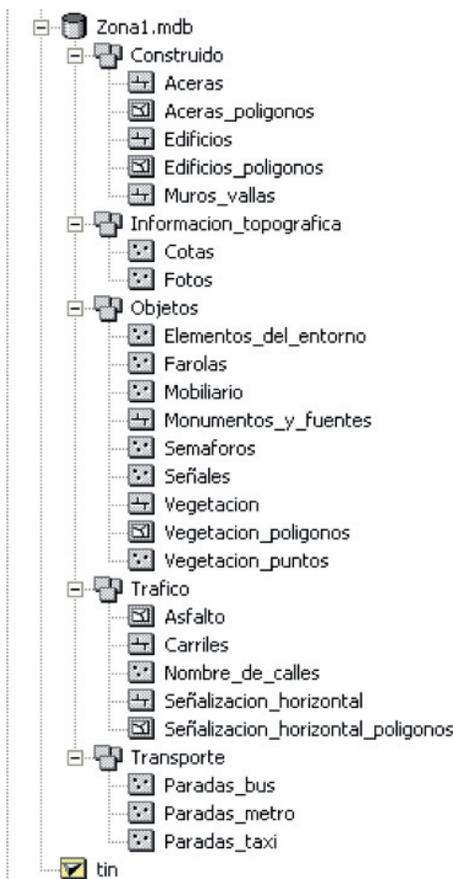


Fig. 14: Base de datos geográfica asociada a un entorno vehicular

En la Fig. 15 se puede observar una previsualización del entorno en tres dimensiones, mostrado directamente desde el SIG. Gracias a esta previsualización se puede revisar la colocación de los objetos, tanto en posición, orientación, tamaño o aspecto, y permite tener una imagen del escenario previa al montaje final en el simulador.



Fig. 15: Previsualización del entorno en tres dimensiones

En la Fig. 16 se muestra el resultado del entorno virtual una vez implementado en el simulador vehicular.



Fig. 16: Imagen obtenida del sistema de representación del simulador

5. CONCLUSIONES

Como se ha indicado, la base de datos del visual de un simulador es una colección de descripciones acerca de los elementos de una escena, y de cómo ensamblarlos. Esta base de datos debe ser entendida por el *software* del motor gráfico, que proporcionará la representación gráfica de las escenas en las que se desarrolla la simulación en tiempo real.

Se ha trabajado para desarrollar una metodología que permita gestionar el contenido y la estructura de una base de datos visual correspondiente a un entorno virtual empleado en un simulador de conducción industrial en tiempo real, y se ha sometido el resultado de la metodología a una batería de pruebas, contrastándola con la metodología empleada anteriormente. Los resultados obtenidos midiendo parámetros que describen el rendimiento del visual de un simulador corroboran la mejoría obtenida.

Por lo tanto, se ha generado una metodología que aprovecha funcionalidades de los Sistemas de Información Geográfica como son el empleo de grandes cantidades de información en múltiples formatos, su capacidad para realizar análisis espaciales, la posibilidad de crear bases de datos geográficas y alfanuméricas, la facilidad para el intercambio

de información, etc. con el fin de mejorar tanto la calidad visual como el rendimiento del simulador reduciendo los tiempos y costes de creación de la base de datos visual, facilitando la edición de los elementos, generando de forma directa archivos para el motor gráfico, y de esta manera incrementando el campo de aplicación de la Realidad Virtual.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Abdul-Rahman, Zlatanova S, Coors V. "Innovations in 3D GeoInformationSystems". 2006. 760 p. ISBN:354036997X.
- Tide D, Lang S. "Analytical 3D views and virtual globes _ scientific results in a familiar spatial context". ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. Z_GIS Centre for Geoinformatics, Salzburg University, Schillerstrasse 30, 5020 Salzburg, Austria. In Press, Corrected Proof, Available online 6 January 2010, ISSN 0924-2716,
- Haik L, Döllner J, "3D feature surface properties and their application in geovisualization.," Computers, Environment and Urban Systems. Elsevier. ISSN: 0198-9715.2010
- Tomlinson R. "Thinking about GIS:Geographic Information System Planning for Managers," ESRI Inc. California 2007. ISBN 978-1-58948-158-9.
- Van Dipten R, Van Klaveren E. "The surplus value of virtual reality in urban planning,," Second Joint Conference & Exhibition on Geographical Information,., Barcelona 1996. p.683-686. ISBN 90 5199 2688.
- Huayi W, Zhengwei H, Jianya G. "A virtual globe-based 3D visualization and interactive framework for public participation in urban planning processes." Elsevier. Vol. 34 p. 291-298. ISSN: 0198-9715. 2010.
- Heim M. "The Metaphysics of Virtual Reality," Oxford University Press. New York, 1993 ISBN 0-19-508178-1
- Clemente P. "Creación de entornos virtuales con Crystal Space 3D," Master Final Project. Madrid September 2006
- Nebiker S, Bleisch S, Christen M, "Rich point clouds in virtual globes - A new paradigm in city modeling?," Computers, Environment and Urban Systems. Elsevier. . ISSN: 0198-9715. 2010.
- Gobbetti E, Bouvier E. "Time-critical multiresolution rendering of large complex models". Computer-Aided Design Vol.32, p785-803. Elsevier. ISSN: 0010-4485. 2000.
- Matthias Wloka. "Batch, Batch, Batch: What Does It Really Mean," GDC 2003, San Jose, CA. 2003. <http://developer.nvidia.com/docs/10/8230/BatchBatchBatch.ppt>
- Pérez Benedito JL. "Aided 3D geometric model generation for urban roadway infrastructures WSEAS Transactions on Information Science and Applications. Issue 5, Vol. 3,p 946-953 Czech republic . 2006. ISSN: 1790-0832.
- D'Amore F. "Interacting With SIG: From Paper Cartography To Virtual Environments". Unesco Encyclopedia on man-machine Interfaces, Advanced Geographic Information Systems. Unesco Press, Suiza. 2001.
- Tovar C, Cabanellas JM. "Modular technology in the generation of large virtual environments". 10th International Conference on Intelligent Games and Simulation p. 88-92 . Dusseldorf, Germany, 2009. ISBN: 978-9-07738-153-3.
- R Villagrà M.; Carretero A. "Optimización de las BBDD Visual de un Simulador". XX Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica INGEGRAF 2008. p. 663-670. Valencia, España, 2008. ISBN: 978-84-8363-275-8. Disponible en web: <<http://www.ingegraf.es/congresos/2008-Valencia/cd.pdf>