

SIMULADORES DE CONDUCCIÓN URBANOS: UNA TÉCNICA DE OPTIMIZACIÓN DE BASES DE DATOS VISUALES UTILIZANDO ASPECTOS PERCEPTIVOS

José Luis Pérez Benedito⁽¹⁾; Jesús Félez Mindán⁽²⁾; María Jesús Sánchez Naranjo⁽³⁾;
Juan Martínez-Val Peñalosa⁽⁴⁾

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

⁽¹⁾Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Aeronáutica (VISUAL GRAPHICS GROUP)

⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales

Madrid (España)

⁽¹⁾joseluis.perez@upm.es

<http://www.vgg.upm.es>

Resumen

El objetivo del presente artículo es exponer una técnica de optimización de entornos virtuales urbanos, los cuales constituyen bases de datos visuales orientadas a su utilización en simuladores de conducción. La base de la técnica se fundamenta en la identificación de aquellos factores que intervienen en el diseño constructivo del escenario virtual, determinando si son estadísticamente significativos en la calidad y en el grado de realismo percibidos por el usuario del simulador gráfico.

Este planteamiento supone una nueva vía de simplificación de este tipo de escenarios complejos ya que permite decidir la combinación óptima de modificaciones en las geometrías de los modelos, de tal forma que la base de datos visual resultante se comporte adecuadamente en tiempo real sin comprometer la latencia de la simulación y mostrando al mismo tiempo al usuario final un escenario totalmente reconocible e inmersivo.

Se establece un modelo estadístico basado en el diseño de experimentos donde se estudia el efecto que, sobre cada una de las variables respuesta elegidas, tienen el conjunto de factores de diseño del escenario virtual. El modelo ha sido validado experimentalmente en un escenario virtual implementado en un simulador de conducción de bajo coste.

La ventaja fundamental de esta contribución es la asignación selectiva de los recursos necesarios a la hora de modelar las geometrías del escenario, permitiendo la reducción de costes y tiempos de desarrollo durante el proceso de generación 3D.

Palabras clave

Realidad Virtual, Simuladores Gráficos, Bases de Datos Visuales, Percepción Visual, Diseño de Experimentos.

Abstract

This paper presents a new optimization technique of 3D Virtual Urban Environments which are used as Visual Databases in driving simulators. The technique is based on identifying those factors involved in the modeling of virtual scene, determining if they are statistically significant in quality and the degree of realism perceived by the user's graphic simulator.

This approach represents a new way of simplifying this type of complex scenarios and allowing decide the optimal complexity in the geometry of the models. The behavior of the visual database in real time improves the simulation performance and shows the end user a scenario completely immersive.

The article shows a statistical model based on the Design of Experiments. This model examines the impact of several response variables chosen, with a combination of factors 3D design virtual scene. The model has been validated experimentally in a virtual scenario and implemented in a low cost driving simulator.

The main advantage of this contribution is the optimal management of resources in the modeling of scene geometries, allowing the reduction of costs and development times during the 3D modeling process.

Keywords

Virtual Reality, Graphic Simulators, Visual Databases, Visual Perception, Design of Experiments.

1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años se ha desarrollado una intensa labor de investigación en el área de la generación tridimensional de entornos virtuales urbanos. Hasta el momento se ha avanzado en la generación tridimensional de los datos referentes al escenario virtual donde se desarrolla una simulación [7]. Este tipo de datos, los cuales forman una base de datos gráfica de un sistema visual, están constituidos tanto por elementos que participan directa y activamente en la simulación (automóviles, peatones, señalización, calzadas, etc.) así como por otros, que aunque en principio pueden considerarse complementarios (terreno circundante, edificios y cualquier tipo de infraestructura urbana) constituyen un aspecto fundamental en la morfología de un escenario virtual, figura 1.

La generación de una base de datos gráfica de estas características es una tarea compleja, pues se trata de componentes heterogéneos que deben de compartir una estructura básica común y estar ligados por multitud de relaciones. Aspectos como la similitud con la realidad a la que representa, la optimización de geometrías y conseguir la inmersión del usuario en el escenario virtual constituyen aspectos cruciales en un diseño eficiente de la base de datos visual que conlleva largos periodos de desarrollo y en consecuencia altos costes.

Se han propuesto métodos de optimización dirigidos a organizar de una forma eficiente el grafo de escena con el propósito de incrementar el rendimiento de la aplicación en tiempo real [2]. No obstante, a parte del grafo de escena hay otros aspectos del modelado que inciden directamente en el rendimiento de la aplicación.

El primero de ellos corresponde al número de polígonos de las geometrías integrantes de la escena. Los métodos de generalización de entidades vectoriales, así como los métodos de segmentación [6] han servido para disminuir en gran parte la complejidad poligonal de los modelos geomé-

tricos. Sin embargo, y debido a las grandes extensiones de estos escenarios, se hace necesario efectuar una optimización poligonal más selectiva sobre las zonas más complejas de los modelos. Las metodologías más comunes son el empleo de técnicas multiresolución discretas, a partir de las cuales, se realizan varias aproximaciones independientes y de diferentes grados de complejidad de un mismo modelo. Estas aproximaciones son conocidas como niveles de detalle o LODs (*Levels Of Detail*). El modelado de cada una de estas aproximaciones se ajusta en la mayoría de las ocasiones, a criterios de simplificación basados en la contracción de vértices, si se emplean métodos automáticos de generación. O bien, si se utilizan métodos manuales de modelado, la simplificación se ajusta al criterio subjetivo del modelador.

Algo similar ocurre con la resolución de los patrones de texturas aplicados a las geometrías y que constituye el segundo aspecto del modelado. Técnicas como el establecer niveles de *mipmapping* mejoran notablemente el rendimiento de la aplicación, sin embargo no hay criterios claros de cuál debe ser la resolución a adoptar ni los motivos que lo justifican [5].

Con el propósito de resolver este problema el presente artículo propone una técnica de optimización de bases de datos visuales fundamentada en aspectos perceptivos y cognitivos. Con este nuevo planteamiento se pretenden estudiar los factores que inciden de forma directa en la percepción que el usuario tiene del entorno virtual en función de las condiciones de simulación a las que está sujeto. Será importante evaluar, según estas condiciones, en qué partes del escenario fija su atención y establecer los criterios que permiten evaluar la calidad del entorno. La identificación de estos factores permitirá hacer una optimización selectiva y objetiva, estableciendo los criterios de modelado necesarios.

2. PERCEPCIÓN Y COGNICIÓN EN ENTORNOS VIRTUALES

Pese a que desde los primeros estudios [8] que sobre la percepción tiene el ser humano de un entorno virtual crecen en importancia, los estudios basados en la percepción y la valoración cualitativa que hace un observador sobre el entorno virtual son todavía escasos [1].

Hay diferentes factores que contribuyen a incrementar la sensación de presencia en un entorno virtual. Algunos de ellos son de carácter perceptivo y otros motores. Aquellos que limitan la entra-

da de estímulos del ambiente real y potencian la correspondiente al entorno virtual disminuyen, por mecanismos perceptivos, la sensación de presencia en el mundo real e incrementan la presencia en el entorno virtual.

Parámetros como el contraste de la imagen [11], textura [3] o luminosidad [12], permiten estimar la apreciación subjetiva que el observador hace de la velocidad simulada a la que se desplaza. Otros factores como la resolución y sincronización de la



Fig. 1: Modelos integrantes de una base de datos de un sistema visual en un simulador de tráfico urbano.

imagen representada a través del sistema visual, frame rate, la apertura del campo de visión o el sonido [10] son importantes desde el aspecto del flujo de la información visual. Sin embargo pocas

investigaciones han estudiado el efecto que estos parámetros ejercen en la fidelidad visual que ofrece el simulador y en el comportamiento del usuario [4] [9].

3. ESCENARIO VIRTUAL DE EXPERIMENTACIÓN

Con el propósito de realizar una valoración cualitativa de un entorno virtual urbano desde un punto de vista objetivo, se han evaluado los efectos que una serie de factores van a ejercer sobre las capacidades perceptivas y cognitivas de un grupo de usuarios del entorno virtual experimental.

El diseño del escenario contempla una serie de factores a evaluar en el usuario, todos ellos relacionados entre sí en cuanto a la metodología de modelado y estructuración del escenario virtual. La ponderación de estos factores será clave en el establecimiento de una metodología de generación de entornos virtuales urbanos reales capaces de utilizar los elementos indispensables tanto en geometría de las mallas que componen los

modelos del escenario, en memoria de texturas, así como en la cantidad de elementos adyacentes a la zona de eventos del conductor con el objeto de lograr la credibilidad y correcta inmersividad del usuario en el simulador.

Como estudio previo al diseño se ha planteado establecer qué factores son determinantes a la hora de hacer el análisis perceptivo del entorno virtual urbano. En esta fase previa al desarrollo se proponen una serie de aspectos básicos perceptivos que, por un lado condicionan la percepción y cognición del usuario del simulador, y por otro también condicionan los criterios de modelado de geometrías y elementos urbanos que componen la base de datos.

3.1. Aspectos experimentales

Sería innecesario invertir gran parte de los recursos disponibles en el modelado de geometrías detalladas que superen las posibilidades del usuario del simulador. Por tanto, es lógico adoptar el punto de vista del usuario como elemento fundamental de referencia a la hora de establecer el detalle de los modelos que conforman el entorno, figura 2(a).

El punto de vista del usuario en simulaciones a nivel del suelo debe considerarse desde dos aspectos:

a) Aspecto objetivo

- Delimitar la *zona de interés preferente*. Zona que se aprecia desde el punto de vista del conductor hasta la altura que cubre su visión en relación a la distancia y al ancho de la calzada, figura 2(b).
- Diferenciación del *espacio visible del invisible*. Evidentemente no tiene sentido modelar geometrías que quedan fuera del campo de visión del usuario, por tanto cubiertas de edificios y otras geometrías no accesibles no son modeladas.

b) Aspecto subjetivo

- Definir la *zona de eventos*: aparición de vehículos, peatones, señales, etc. Los puntos de referencia estarán constituidos por fachadas, señales u otros elementos del entorno para su orientación, los cuales servirán para situar la progresión del observador.
- Contar con las *expectativas previas* del usuario. Establecer los objetivos perse-

guidos al utilizar el simulador, bien sea el aprendizaje de un trayecto, la reacción frente a situaciones imprevistas o cualquier otra que se persiga en la formación del usuario.

- Considerar el rango de *necesidades de orientación* que tendrá el usuario, si se trata de un aprendizaje genérico de un entorno indefinido o de una zona urbana concreta.

3.2. Análisis perceptivo básico

La determinación geográfica y el entorno esceno-gráfico quedarán siempre en la periferia de la zona de eventos. Respecto a este análisis se han tratado tres aspectos fundamentales:

- a) *Anomalías perceptivas* en sentido formal general: elementos que rompen la uniformidad o normalidad del entorno y que por ello mismo llaman siempre la atención y se convierten en puntos de referencia, figura 3(a).

- b) *Anomalías semánticas objetivas*: edificios, muebles urbanos, anuncios u otros elementos, que tienen una significación especial para todos los usuarios. Sirven para identificar el entorno y son elementos orientadores, figura 3(b).

- c) *Anomalías semánticas subjetivas*: aquellas que dependen de vivencias anteriores del usuario, y por consiguiente se tiene un escaso control sobre ellas.

4. MODELO ESTADÍSTICO

4.1. Variables de interés y factores de diseño

Uno de los aspectos claves es decidir la combinación óptima de modificaciones en las geometrías de los modelos y sus texturas aplicadas que ofrezcan, por un lado, un comportamiento adecuado en tiempo real de la base de datos del visual, y por otro que el entorno virtual muestre al usuario final un escenario totalmente reconocible e inmersivo. Por tanto, se hace necesario establecer un mode-

lo de análisis capaz de determinar qué aspectos son significativos y cuáles deben ser sus magnitudes correspondientes.

La elaboración de un modelo estadístico orientado a este fin permite explicar el comportamiento de una variable de interés (variable respuesta) como resultado del efecto de un conjunto de variables explicativas (factores) y mostrar la utilización



(a) Punto de vista del usuario.

(b) Zona de interés preferente desde el punto de vista del conductor.

Fig. 2: Delimitación del área de interés.



(a) El contraste cromático en la textura del bajo comercial conforma un elemento diferenciador. (b) La disparidad en la uniformidad morfológica y de texturas provoca una anomalía perceptiva en un área concreta.

Fig. 3: Anomalías perceptivas y semánticas en el entorno virtual.

de este modelo para tomar decisiones en la optimización del escenario virtual.

El factor humano está condicionado por multitud de condicionantes que pueden influir sobre una respuesta o valoración acerca de una experiencia vivida como la que se evalúa. Por tanto, el problema se ha abordado teniendo en cuenta este tipo de condicionantes de tal manera que la respuesta dada por el participante sea capaz de describir y cuantificar cualitativamente el entorno de pruebas desde un punto de vista lo más general y objetivo posible. En función de estos criterios se han considerado como variables de interés la calidad del entorno virtual y el grado de realismo apreciado.

Durante el proceso de generación de geometrías constituyentes de un entorno virtual es importante saber el resultado final que se pretende obtener después de exportar la base de datos al motor gráfico. Para conseguir los resultados esperados en el simulador, velocidad en tiempo real e inmersividad, se debe llegar a un compromiso en la utilización de los elementos indispensables para la generación de los modelos, es decir, la geometría,

las transformaciones, y las propiedades de la superficie de la malla. El criterio adoptado ha sido tomar como factores potenciales del diseño:

- *Nivel de complejidad poligonal* o grado de detalle de las geometrías componentes del entorno. Afectará fundamentalmente a la morfología de los edificios integrantes del escenario virtual urbano.
- *Resolución de las texturas* mapeadas en la geometría adyacente a la vía. Esencialmente haciendo una clara distinción entre las texturas aplicadas a los bajos de edificios y las texturas aplicadas en las fachadas.

Por otra parte, se han tomado como factores adicionales del experimento la densidad de tráfico (gestionada por el modelo de tráfico) y el sexo del participante. Estos factores aunque directamente no afectan al diseño de la base de datos sí que afectan indirectamente a su optimización pues sus efectos condicionan decisivamente la percepción del usuario.

4.2. Ecuación del modelo

Se ha utilizado un diseño factorial mixto $2^4 \times 3$, el cual permite estudiar el efecto de cinco factores sobre dos variables respuesta de manera independiente, ecuación 1. Las variables respuesta son la

calidad del entorno virtual Y^1 y el grado de realismo del escenario Y^2 . Los niveles de los factores se detallan en la tabla 1.

$$Y_{ijklm} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + \delta_l + \epsilon_m + (\alpha\beta)_{ij} + (\alpha\gamma)_{ik} + \dots + (\delta\epsilon)_{lm} + (\alpha\beta\gamma)_{ijk} + \dots + (\gamma\delta\epsilon)_{klm} + u_{ijklm} \quad (i, j, k, l, m) = 1, 2 \quad (1)$$

imponiendo la restricción de que los efectos principales e interacciones representan efectos incrementales sobre la media:

$$\sum_i \alpha_i = \sum_j \beta_j = \dots = \sum_m \epsilon_m = 0$$

$$\sum_i (\alpha\beta)_{ij} = \sum_j (\alpha\beta)_{ij} = \dots = \sum_l (\delta\epsilon)_{lm} = \sum_m (\delta\epsilon)_{lm} = 0$$

$$\sum_i (\alpha\beta\gamma)_{ijk} = \dots = \sum_m (\gamma\delta\epsilon)_{klm} = 0$$

Tabla 1: Factores y niveles del diseño

Definición	Factores	Niveles	Valores
Resolución Texturas Bajos Edificios	α	(1): Baja resolución	128x64 texel
		(2): Alta resolución	2024x1024 texel
Resolución Texturas Fachadas Edificios	β	(1): Baja resolución	256x128 texel
		(2): Alta resolución	1024x512 texel
Complejidad Poligonal	γ	(1): Baja densidad	Extrusión simple Detallada
		(2): Alta densidad	
Densidad de Tráfico	δ	(1): Baja densidad	10 coches/sector
		(2): Media densidad	30 coches/sector
		(3): Alta densidad	50 coches/sector
Sexo	ϵ	(1): Mujer (2): Hombre	

4.3. Modelado específico del entorno virtual

Se escogió como entorno virtual de desarrollo un área concreta del distrito centro de la ciudad de Madrid. El modelado geométrico del entorno contempló las especificaciones adoptadas en los factores del modelo. El factor correspondiente a la resolución de las texturas tiene en cuenta al tamaño de los patrones de imágenes aplicadas a los polígonos que constituyen las geometrías correspondientes a los edificios del entorno, figura 4. El conjunto de estos patrones de texturas más los que corresponden al resto de geometrías (mobiliario urbano, señalización, etc.) forman la paleta de texturas de la base de datos.

En cuanto a la complejidad de las geometrías, ambos niveles de detalle geométrico compartirán una característica común, la segmentación de los modelos en dos zonas claramente distinguibles. Por una parte, la zona inferior, correspondiente a los bajos de los inmuebles donde se sitúan portales, pequeños comercios, bancos, etc. Y la zona superior, que engloba el bloque restante de la estructura, figura 5.



(a) Bajo nivel de resolución

(b) Alto nivel de resolución

Fig. 4: Resolución de texturas para el primer nivel de segmentación



(a) Modelo de baja resolución

(b) Modelo de alta resolución

Fig. 5: Diferencias en la complejidad poligonal de una misma fachada

5. RESULTADOS Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL MODELO

El estudio se realizó con 130 alumnos de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de Madrid con edades comprendidas entre los 18 y 26 años. Los participantes realizaron una serie de ejercicios consistentes en el cumplimiento de unas rutas prefijadas de antemano y condicionados por un tráfico variable gestionado por el módulo de tráfico.

Se dispusieron dos puestos de simulación de idénticas prestaciones, cuyas características se ajustan a la de un simulador de bajo coste. El ejercicio tenía una duración de cuarenta y cinco minutos dividiéndose en dos fases, una práctica utilizando el puesto de simulación y otra en la que se debía responder a un cuestionario escrito.

El análisis del modelo estadístico para cada una de las variables estudiadas ofreció las siguientes conclusiones:

- *Percepción de la calidad.* La resolución de las texturas asignadas a las fachadas de los edificios es el factor más influyente en el análisis de esta variable. La interacción de este factor con el resto de factores considerados resulta estadísticamente significativo para establecer los parámetros óptimos de

diseño del escenario. La baja resolución de estas texturas junto con una alta resolución de las texturas en los bajos de los edificios y el alto nivel de complejidad poligonal de los modelos ha resultado ser la combinación óptima. Siempre que se mantengan las condiciones anteriores, la variación de la densidad de tráfico se comporta como un factor invariable en la percepción de la calidad. Se puede concluir que el área donde el usuario centra su atención durante el ejercicio de la simulación, es decir la zona de interés preferente, se localiza en el nivel inferior del escenario virtual.

- *Percepción del realismo.* A través del análisis del modelo estadístico y según las condiciones en las que se desarrolló la experimentación se dedujo que ninguno de los factores seleccionados en el diseño del experimento tiene efectos sobre la percepción del realismo. Por tanto, se concluye que pueden haber otras situaciones y factores distintos a los propuestos que sí tengan un efecto sobre la variable de estudio como pueden ser la propia infraestructura de un simulador de bajo coste.

6. CONCLUSIONES

El estudio presentado recoge las directrices de una técnica original de optimización de entornos virtuales urbanos, centrada en la percepción del usuario y orientada a la selección específica de aquellos factores de modelado y sus niveles que inciden de forma directa en el rendimiento de una base de datos gráfica de un sistema visual. Pese a que el estudio centra su atención únicamen-

te en entornos virtuales urbanos implementados en simuladores de bajo coste, la aplicabilidad del método se puede hacer extensible a otro tipo de escenarios y simuladores.

La técnica permite seleccionar los factores de modelado que influyen en la percepción de la calidad del escenario con objeto de dedicar sólo los re-

cursos necesarios en su generación, minimizando costes y tiempos de desarrollo. La combinación óptima de modificaciones a realizar, tanto en complejidades poligonales como en resolución textural, ofrece como resultado un comportamien-

to adecuado en tiempo real de la base de datos visual y además un grado adecuado de reconocimiento e inmersividad en el entorno por parte del usuario.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean expresar su gratitud a los alumnos de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de Madrid sin cuya participa-

ción no hubiera sido posible la realización del ensayo.

Referencias

- [1] BISHOP, I. D. y ROHRMANN, B.: «Subjective responses to simulated and real environments: A Comparison». En: *Environment and Behaviour*, , 2003.
- [2] BITTNER, J.; WIMMER, M. y PIRINGER, H.: «Coherent Hierarchical Culling: Hardware Occlusion Queries Made Useful». En: *EUROGRAPHICS 2004*, volumen 23, 2004.
- [3] BLAKEMORE, M. R. y SNOWDEN, R. J.: «Textured backgrounds alter perceived speed». En: *Vision Research*, 40, pp. 629–638, 2000.
- [4] CHATZIASTROS, A. y otros: «In The Effect of Field of View and Surface Texture on Driver Steering Performance». En: *Gale, Elsevier*, pp. 253–259, 1999.
- [5] KADA, M.; HAALA, N. y BECKER, S.: *Improving the Realism of Existing 3D City Models*. capítulo 3D City Modelling, pp. 405–416. *Innovations in 3D Geo Information Systems, LNG&C (Lecture Notes in Geoinformation and Cartography)*. Springer - Verlag Heidelberg, 2006.
- [6] KADA, M. y KLINEC, D.: «3D Building Generalisation». En: *Proceedings of the 22th International Cartographic Conference, La Coruña, Spain*, , 2005.
- [7] LATGER, J.; GOFF, A. LE; CHAMPEIX, N.; CATHALA, T. y LARIVE, M.: «Automatic 3D virtual scenes modeling for multi sensors simulation». En: *Proceedings of SPIE Defense and Security Symposium*, , 2005.
- [8] MARANS, R. W. y STOKOLS, D.: *Environmental Simulation: Research and Policy Issues*. New York: Plenum Press, 1993.
- [9] PÉREZ-BENEDITO, J.L.: *Optimización y contrastación metodológica en la generación de entornos virtuales urbanos orientados a simuladores de conducción*. Tesis doctoral, E.T.S.I. Industriales de Madrid (U.P.M), 2006.
- [10] ROHRMANN, B. y BISHOP, I.: «Subjective responses to computer simulations of urban environments». En: *Journal of Environmental Psychology*, volumen 22, pp. 319–331. University of Melbourne, Australia, 2002.
- [11] SNOWDEN, R. J.: «The effect of contrast upon perceived speed: a general phenomenon?» En: *Perception*, 28, pp. 33–48, 1999.
- [12] TAKEUCHI, T. y DE, V.: «Velocity discrimination in scotopic vision». En: *Vision Research*, 40, pp. 2011–2024, 2000.