

Tema 15. Investigación y simulación de la realidad.

QUÉ SON LOS SIMULADORES DE CONDUCCIÓN

Podríamos decir que un simulador de conducción crea un entorno ficticio que trata de emular el entorno vial o una parte del mismo con el fin de servir a un propósito de investigación, entrenamiento, o evaluación.

CÓMO SON LOS SIMULADORES DE CONDUCCIÓN

QUÉ APARIENCIA TIENEN

Un simulador de conducción con fines de investigación sobre factores humanos consiste normalmente en una carrocería de un vehículo con asientos, volante, mandos, etc. montada sobre una plataforma (fija o móvil) que se encuentra situada frente a una pantalla panorámica que puede llegar a abarcar 360° de campo visual en la que se proyectan imágenes generadas por ordenador que simulan la escena de la carretera tal como sería vista desde el asiento del conductor, a la vez que otros dispositivos simulan el componente auditivo. En los simuladores que incluyen la simulación del componente propioceptivo (gravitatorio-inercial) todo el conjunto va montado sobre una plataforma móvil controlada por sistemas hidráulicos a su vez controlados por complejos algoritmos computacionales. Un simulador de altas prestaciones puede ocupar el espacio de una nave industrial, y prescindiendo del componente propioceptivo puede alojarse en un laboratorio relativamente amplio. Ciertamente, también dentro del ámbito de la investigación se han utilizado equipos más simplificados para la simulación de tareas parciales de la conducción.

Aquí nos referiremos a simuladores de tarea completa.

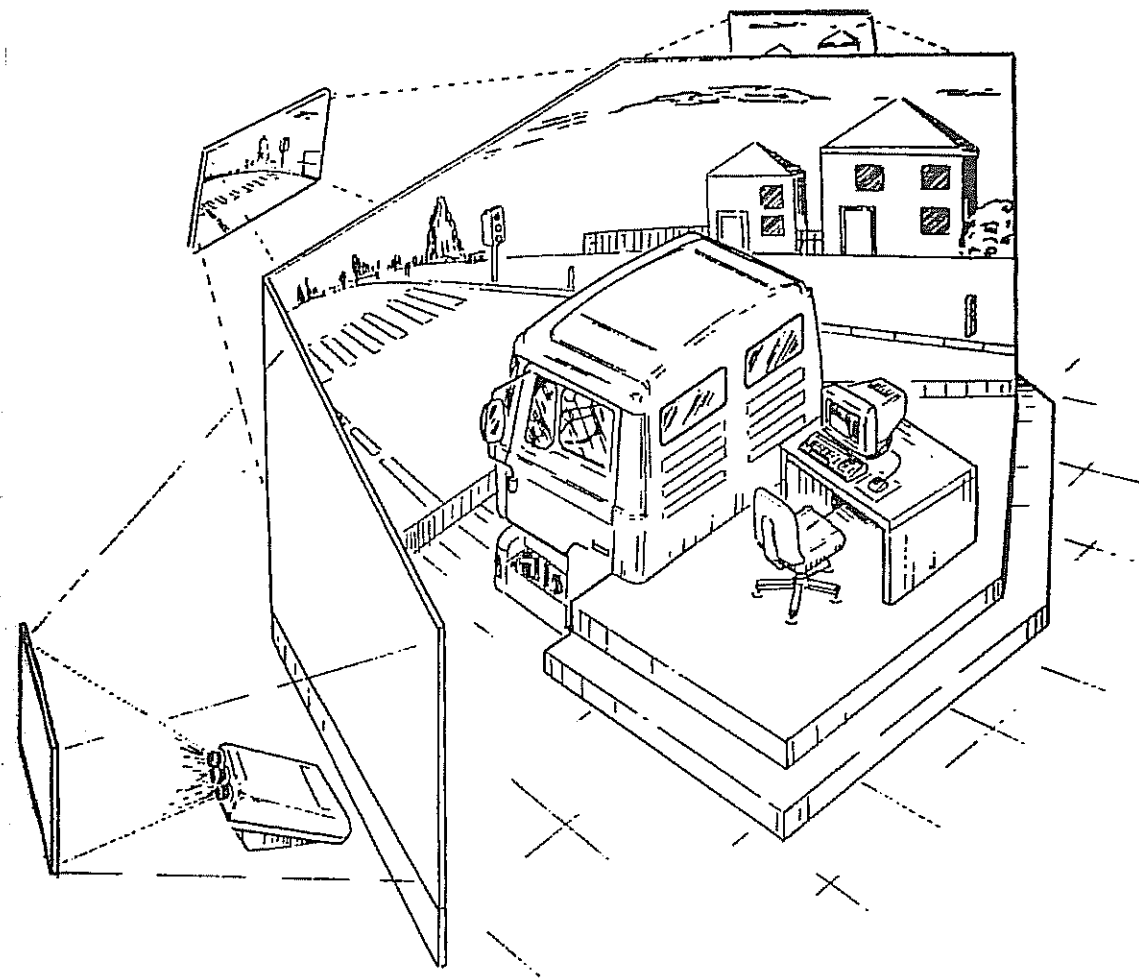


Ejemplo paradigmático de un sofisticado simulador de conducción de altas prestaciones de la firma Mercedes Benz, en Berlin. Montado sobre una plataforma móvil, es capaz de combinar imagen, sonido y el componente gravitatorio-inercial.

Un simulador dedicado a la investigación requiere además de un laboratorio anexo y un interfaz con el usuario-investigador con amplia capacidad de control sobre el sistema de simulación propiamente dicho, incluyendo la monitorización y registro de eventos, programación de experimentos, etc.

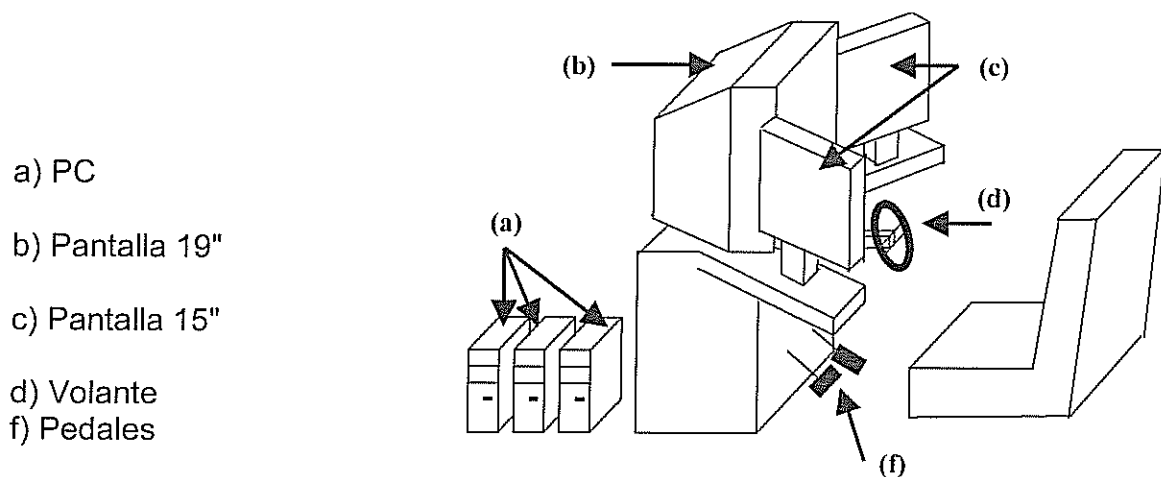
Por otra parte también se habla de simuladores de conducción dentro del ámbito del aprendizaje. Los requisitos y las prestaciones de estos sistemas son muy

limitados y, sin entrar en analizar su utilidad didáctica comparada con el aprendizaje clásico en las autoescuelas con vehículos reales, no son aplicables a fines de investigación por carecer de un interfaz de usuario-investigador suficientemente flexible y adaptado a estos fines. En lugar de ello presentan un interfaz de usuario encapsulado en un menú preestablecido de programas de entrenamiento o de salida de información cuya modificación no es accesible al usuario.



Ejemplo de un simulador de base fija (en este caso se trata de la cabina de un camión). El escenario visual se simula a través de tres grandes pantallas y tres proyectores sincronizados. En este caso se trata de un ejemplo de un simulador medianamente sofisticado orientado al aprendizaje de la conducción de camiones. Detrás de la cabina del camión puede verse el puesto del instructor que gobierna la sesión de entrenamiento.

En el ámbito de las autoescuelas tienden a proliferar equipos basados en implementaciones tecnológicas de bajo coste y presentan con frecuencia una apariencia similar a las maquinas recreativas: una pequeña cabina con un monitor, asiento, volante, pedales y palancas.



Ejemplo de un montaje de bajo coste basado en tres ordenadores personales y con un simple interfaz de un volante y dos pedales (acelerador y freno). El concepto de simulador de conducción se aplica con frecuencia a entornos sumamente simplificados.

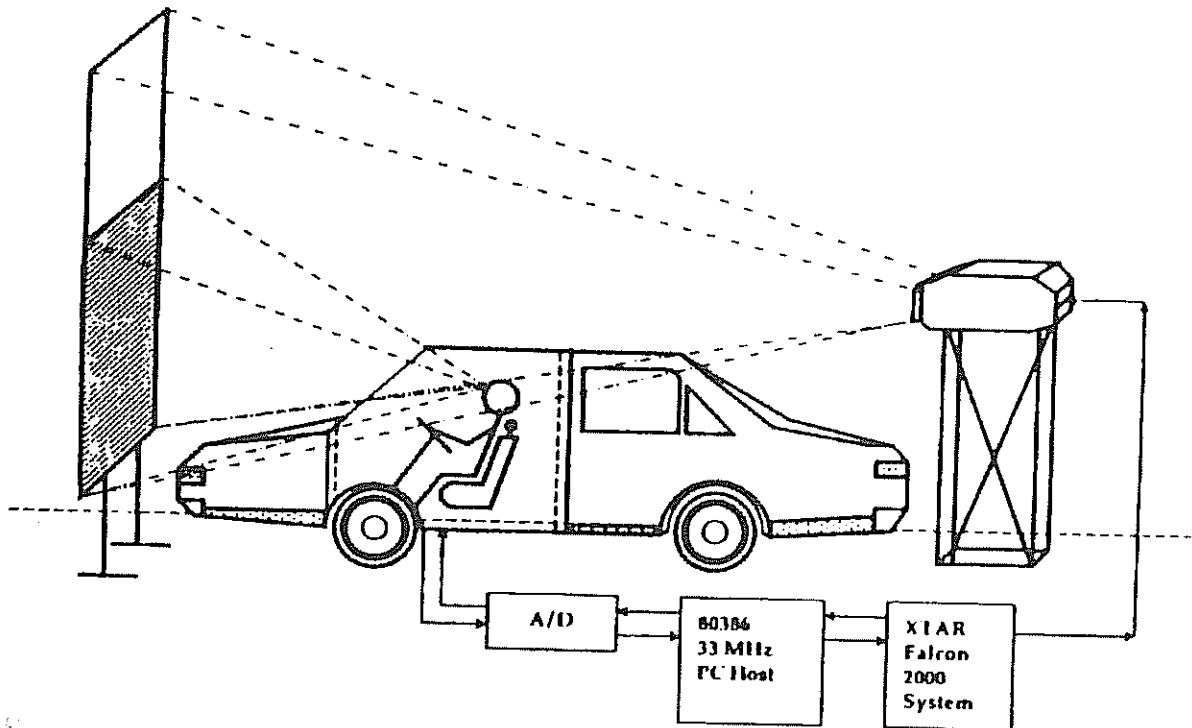
EL FEED-BACK ACCIÓN - INFORMACIÓN SENSORIAL

Para que pueda hablarse de un verdadero SIMULADOR DE CONDUCCIÓN es imprescindible que el sistema de presentación de información sensorial GENERE dicha información en TIEMPO REAL y de acuerdo con las acciones del conductor.

Esto implica que el vehículo debe estar SENSORIZADO para recoger las acciones del conductor sobre los mandos y debe haber un circuito de RETROALIMENTACION DE ALTA VELOCIDAD, que sea capaz de gestionar la información sobre las acciones del conductor y lograr que los algoritmos computacionales y sistemas de generación de imágenes, sonidos, o movimientos de la cabina reproduzcan fielmente los cambios sensoriales que concomitantemente hubieran ocurrido en un mundo real equivalente.

Por ejemplo, si el conductor gira el volante a la derecha, el campo visual virtual debe desplazarse a la izquierda a una velocidad angular dependiente de la velocidad de giro, a la vez que, en el caso de existir una base móvil, la cabina se inclina ala izquierda para simular la fuerza centrífuga.

Como la acción del conductor no puede predecirse estrictamente (se supone que el conductor actúa espontáneamente) las imágenes virtuales y demás efectos especiales necesarios para simular es escenario no pueden estar pregrabados como una película. (Visionar una película pregrabada, incluyendo efectos sonoros y propioceptivos podría considerarse un buen simulador de la condición de PASAJERO PASIVO - como ocurre en los llamados "cines dinámicos" en los que se mueven las butacas, etc. - pero no de la tarea activa del CONDUCTOR). Por ello cada fotograma de imagen, cada onda sonora, cada impulso mecánico debe generarse en función de la acción del conductor y en un tiempo tan rápido (lo que se llama en términos técnicos TIEMPO REAL) que resulte imperceptible para el sujeto.



Ejemplo de un simulador de base fija con un campo visual mas restringido, utilizado en investigación sobre tiempos de colisión por J.K. Caird y P.A. Hancock. Se aprecia el esquema del feed-back del vehículo al sistema generador de imágenes.

EL RETARDO SENSORIAL

Técnicamente, TIEMPO REAL significa aproximarse al ideal de tiempo=0 pero el retardo tiene un valor positivo que depende de la capacidad computacional y mecánica de los sistemas, así como de la complejidad y cantidad de información que debe generarse en un corto espacio de tiempo.

Cuando la generación de imágenes, sonidos e impulsos mecánicos sufre cierto retraso se produce un efecto conocido por MAREO DE LOS SIMULADORES. Visto por el usuario, este efecto, es como si el vehículo y el escenario se volviese

perezoso, con efecto retardado (puede observarse fácilmente en simuladores de bajo coste y en los juegos recreativos que simulan carreras de coches etc.). No existe un umbral de retardo aceptable para cualquier tipo de simulación, y tampoco igual para cualquier modalidad sensorial, pero hablando de simuladores de conducción el retardo de la imagen no debería exceder nunca los 40 u 80 milisegundos.

EL TERRITORIO VIRTUAL

Para poder generar la información cambiante de imágenes, sonidos y aceleraciones gravito-inerciales se parte de una base de datos que contiene un maqueta virtual en tres dimensiones (antiguamente se utilizaban maquetas reales) de un territorio estable mas o menos extenso con calles, carreteras, casas, señales, vehículos, etc. Una maqueta virtual tridimensional es un sistema organizado de ficheros que definen un universo físico en coordenadas x-y-z, en el que cada punto del espacio esta caracterizado por sus parámetros físicos. En consecuencia, es posible calcular la imagen visual en perspectiva con la que un observador vería el escenario desde cualquier punto del espacio. Igualmente se pueden atribuir a los diferentes puntos del espacio otras características no visuales como es el caso del coeficiente de adherencia de los neumáticos sobre el pavimento, etc. Por otra parte pueden existen otras bases de datos relacionadas que permiten crear las modificaciones necesarias para introducir factores de luminosidad, cambios atmosféricos, etc.

LA SIMULACIÓN DEL ENTORNO FÍSICO SENSORIAL

EL ESCENARIO VISUAL

La simulación del escenario visual se basa en la proyección de imágenes en algún soporte mas o menos sofisticado. La sensibilidad del sistema visual humano ante una imagen real es muy superior a la capacidad de la tecnología más sofisticada. Por ello resulta complicado establecer criterios de calidad de un sistema de simulación visual: dadas las limitaciones tecnológicas, la mejora de un aspecto de la imagen casi siempre supone sacrificar algún otro.

Para establecer criterios mínimos sobre los requisitos de una simulación visual nos basamos, entre otras cosas, en las características que el sistema visual humano es capaz de detectar, y por otra parte en las características de la tarea visual que se trata de simular.

LUMINANCIA, COLOR CONTRASTE Y DETALLE

Por ejemplo, el rango de luminancia en el que opera el sistema visual humano esta entre 10^{-6} y 10^8 cd/m^2 . La discriminación del color empieza en 6×10^{-2} cd/m^2 , pero es óptima entre 10^2 y 10^4 cd/m^2 . La luminancia optima para la percepción del contraste es del orden de 300 cd/m^2 , en la cual se discriminan contrastes del orden de $0,02$. La agudeza visual, a partir de una luminancia de 10^3 cd/m^2 alcanza valores del orden de $1,0$ a $2,0$ arcmin^{-1} para la mayoría de las personas.

En consecuencia, los sistemas de proyección deben tener en cuenta este tipo

de parámetros para tratar tanto de optimizar el rendimiento como de conocer los límites de aquello que un determinado display visual no puede simular.

PROFUNDIDAD ¿ 2D O 3D ?

En la mayoría de los casos la simulación de la profundidad se basa en claves monoculares (tamaño de los objetos, gradiente de textura, perspectiva lineal, etc). Las alternativas de simulación conocidas por los apelativos de "realidad virtual" o proyección en 3D recurren a la simulación de la disparidad binocular (estereogramas) como método de crear la impresión de profundidad. No obstante estos sistemas plantean dificultades técnicas que, al menos en el campo de la conducción, suponen ciertas desventajas con respecto a los sistemas tradicionales en dos dimensiones.

Uno de los problemas de los sistemas 3D en la simulación de la profundidad utilizando la disparidad binocular es la consecuente disociación entre los indicios de convergencia y disparidad. Al observar en un estereograma un objeto virtual que se acerca hacia el observador la disparidad binocular se incrementa mientras la convergencia permanece invariable: el observador percibe un objeto cercano mientras sus ojos siguen enfocando al infinito. Por otra parte, la disparidad binocular interviene escasamente para distancias superiores a 10m, por lo que su valor práctico en escenarios de tráfico resulta bastante reducido.

Dadas las limitaciones prácticas de la utilización de las claves binoculares la simulación de la profundidad basada en claves monoculares se logra en base a una mayor definición de texturas, bordes, sombras, y también en un mayor grado de

realismo del escenario - presencia de objetos familiares que proporcionan claves contextuales para la percepción del espacio.

REALISMO, TAMAÑO APARENTE Y CAMPO VISUAL

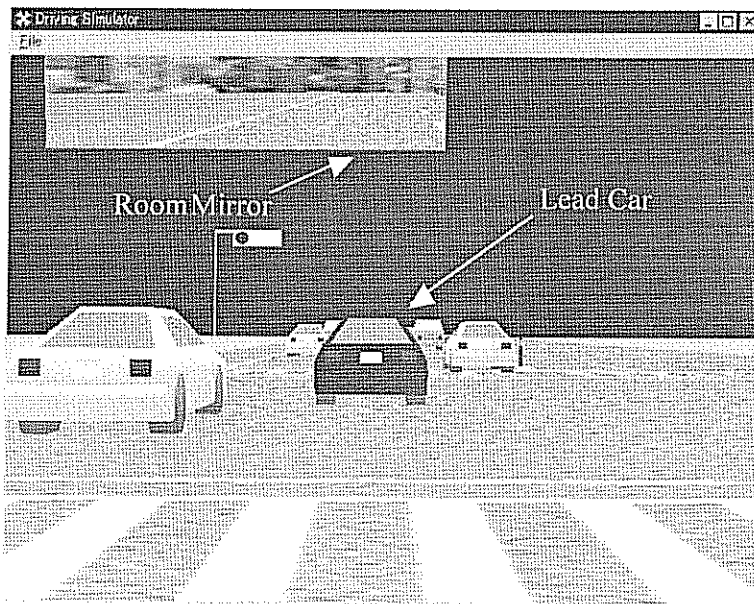
La percepción del tamaño aparente de un objeto familiar viene dada tanto por claves retinianas como por claves contextuales. Por ejemplo, cuando vemos la televisión el tamaño retiniano de los objetos (el tamaño medido en grados de ángulo visual) es mucho menor que el correspondiente al mundo real, y no obstante nos formamos una imagen aproximada de los espacios sin tener la impresión de ver seres liliputienses en una casa de muñecas. Por otra parte el tamaño retiniano llega a coincidir con la escala real cuando se presentan primeros planos. Pero cuando esto ocurre la cara de una persona llena prácticamente toda la pantalla quedando el campo visual muy reducido con respecto al de la visión real. Lo que se gana en realismo de tamaño retiniano se pierde en realismo del campo visual abarcado.

Para lograr una imagen que represente los objetos en tamaño real (retiniano) y a la vez abarque un amplio campo visual requiere imágenes de muy alta definición, con elevadas exigencias computacionales y técnicas. Por ello siempre existe una solución de compromiso entre tamaño de la imagen, definición o resolución espacial, y campo visual abarcado en la simulación del escenario visual. Por otra parte el ideal del tamaño retiniano real, no siempre logra el máximo grado de realismo en la percepción de distancias y de la profundidad. Los diferentes sistemas de proyección de imágenes plantean compromisos adicionales cuya explicación sería cada vez más compleja. Solo a través de leyes empíricas y calibraciones escrupulosas se llega a soluciones prácticas.

Por ejemplo, las necesidades de un mayor o menor campo visual para la simulación de un escenario visual dependen del tipo de tarea a simular. Por ejemplo en un simulador de vuelo, para tareas como despegue, aterrizaje y vuelo normal basta un campo de 50° en horizontal por 40° en vertical, pero para maniobras que impliquen giros a baja altitud se requieren campos de 160° (h) X 60° (v). Para la simulación de vuelos de combate, o simulación de helicópteros se requieren campos de 300° (h) X 150° (v). Para algunas tareas de conducción como el mero seguimiento de la trayectoria pueden ser suficientes 50° (h) X 40° (v), pero para tareas que impliquen la observación de tráfico circundante como adelantamientos, cambios de carril, incorporaciones, giros en intersecciones, se requieren campos visuales que del orden de 180° (h) X 40° (v).

En el caso de la conducción también forma parte de los requisitos de simulación visual la simulación de la imagen de los espejos retrovisores. En los casos en que esta modalidad se incluye, esto se logra con canales adicionales de presentación de imágenes superpuestos sobre la escena principal. Para los espejos exteriores se requiere un tamaño de alrededor de 20° (h) X 15° (v) y de 35° (h) X 15° (v) para el espejo interior.

Los requerimientos de definición de la imagen también dependen de los tamaños y distancias críticas para las tareas a simular: por ejemplo, la distancia a que en la realidad se hace perceptible una señal de tráfico o un coche lejano es muy superior a la que normalmente la misma señal o un vehículo lejano se hacen perceptibles en una pantalla, aun con los simuladores más sofisticados.



Ejemplo de una imagen sintética de una escena simulada de carretera en la que se aprecia varios vehículos, una cierta textura del pavimento, y un rectángulo superior que simula la imagen del espejo retrovisor.

Esto hace que la detección de estos eventos en un simulador sea más tardía que en la realidad. En algunos simuladores se trata de optimizar la resolución de la imagen a través de la técnica de definir un "área de interés": consiste en hacer que la resolución sea variable y contingente con los movimientos oculares: presentando una mayor definición de la imagen en el lugar donde mira el observador a costa de sacrificar la resolución de las zonas más periféricas.

EL ESCENARIO AUDITIVO

Dependiendo de las necesidades de mayor o menor realismo, la simulación de los efectos sonoros puede realizarse utilizando sonido sintético o pregrabado que se reproduce en altavoces estratégicamente colocados. En algunos casos los simuladores utilizan verdaderos vehículos que operan con el motor arrancado y rodando sobre un sistema de rodillos. En estos casos, el sonido del motor así como

el de los neumáticos sobre la superficie de rodadura (acompañado de la correspondiente vibración) no necesitan ser simulados, aunque sea necesario añadir artificialmente el sonido del viento, o el derivado de efectos meteorológicos, etc.

EL ESCENARIO PROPIOCEPTIVO Y GRAVITATORIO INERCIAL

Para simular el componente gravitatorio - inercial se recurre a complejas combinaciones de inclinación y movimientos hacia arriba y hacia abajo de todo el conjunto de la cabina junto con la pantalla de proyección. Por ejemplo, una maniobra de aceleración, se simula la inclinando todo el conjunto hacia arriba. Como el conjunto del vehículo con la cabina de proyección forman un bloque cerrado, el sujeto desde dentro de la cabina en su puesto de conducción no dispone de referencias visuales externas para percatarse de que la fuerza que siente al ver su peso empujado hacia el respaldo es fruto de un simple movimiento basculante. En su lugar, la fuerza que experimenta es congruente con el incremento de velocidad visible en la pantalla, y de los efectos sonoros de aceleración que a la vez tienen lugar. De la misma forma, el conjunto bascula hacia delante cuando el conductor frena y hacia los lados cuanto toma una curva. También la inclinación del conjunto puede ser utilizada convenientemente para simular una inclinación del terreno o la combinación de inclinación con las varias fuerzas de aceleración posibles. Por otra parte la utilización de vehículos reales montados sobre rodillos dentro de la cabina de simulación contribuyen a crear de un modo muy realista la sensaciones de vibración derivadas tanto del motor como de la rugosidad del pavimento.

Una de las dificultades prácticas de estos sistemas estriba en la necesidad de crear dispositivos mecánicos potentes y de acción rápida, capaces de producir movimientos complejos de una estructura de varias toneladas con la precisión y rapidez necesaria para que las fuerzas de aceleración ocurran en el momento justo y en sincronía con los efectos visuales y sonoros.

EL TRÁFICO CIRCUNDANTE

Si bien la maqueta virtual inicial contiene un entorno físico invariable, con la salvedad de que puedan incluirse variaciones generales de iluminación, fenómenos meteorológicos etc., la necesidad de incluir otros vehículos o peatones en esa maqueta virtual implica la modelización de su comportamiento. Desde un comportamiento estrictamente determinado e independiente de la conducta del sujeto experimental de la simulación hasta un comportamiento que sigue ciertas relaciones de contingencia con la conducta del sujeto se pueden elaborar algoritmos de distinta complejidad. En términos computacionales la complejidad aumenta progresivamente conforme aumenta el número de vehículos o peatones capaces de moverse independientemente unos de otros.

DETECCION DE COLISIONES

Especialmente en los simuladores de conducción la colisión con otros objetos requiere algoritmos que permitan estimar con precisión los instantes de una colisión y sus posibles consecuencias en términos dinámicos. Aunque existen algoritmos de

gran complejidad específicamente orientados a la simulación detallada de las consecuencias mecánicas de una colisión entre vehículos, en los simuladores de conducción se utilizan versiones simplificadas que solo manejan una pocas categorías de consecuencias posibles.

La idea de una realidad virtual tan perfecta que realmente logre desdibujar en nuestra mente la distinción entre realidad y ficción solo existe en las películas. Por ello tampoco existe una definición unívoca de como debe ser un simulador. El que es adecuado para un propósito resulta inadecuado para otro. Hablar de qué es un buen simulador es tan ingenuo como hablar de qué es un buen ordenador. La respuesta ingenua del iniciado es CUANTO MAS MEJOR, pero una respuesta realista empieza con la frase SEGÚN PARA QUÉ...

COMO SE CONSTRUYEN PARA UN FIN Y CUALES SON SUS LIMITES

En la práctica un simulador adecuado es el resultado de un compromiso entre OBJETIVOS y LIMITES TECNOLÓGICOS, además de económicos etc. Esta necesidad de compromiso hace que a menudo la definición de los objetivos de investigación se ve fuertemente supeditada a los medios disponibles. Si al principio del capítulo afirmamos que la definición del problema determina la elección del método, ahora nos encontramos con un supuesto diferente:

**EL MÉTODO Y LOS INSTRUMENTOS
CONDICIONAN LA CLASE DE PREGUNTAS
QUE PLANTEAMOS**

Desde el punto de vista del usuario del simulador una pregunta pertinente podría ser:

¿ QUÉ QUEREMOS QUE SIMULE EL SIMULADOR Y QUE GRADO DE DIVERGENCIA CON RESPECTO AL MUNDO REAL ESTAMOS DISPUESTOS A TOLERAR ?

Por otra parte, desde el punto de vista del ingeniero se plantea:

¿ DE QUÉ FORMA PODEMOS SIMULAR UN INPUT SENSORIAL COMPLEJO Y CON QUÉ CRITERIO OPTIMIZAR EL RENDIMIENTO SACRIFICANDO UNAS PRESTACIONES EN FAVOR DE OTRAS ?

VEAMOS DOS EJEMPLOS

1) Supongamos que queremos investigar el comportamiento al volante para mantener la trayectoria EN UNA RECTA Y A VELOCIDAD CONSTANTE. En principio podemos despreciar las fuerzas de aceleración y centrarnos en simular la información visual, mientras registramos la conducta al volante, ya que, exceptuando la vibración por la rugosidad del pavimento, también en la realidad las fuerzas de aceleración solo se presentan en curvas o ante variaciones de velocidad. Por otra parte, si aceptamos hipotéticamente que la información visual interfiere

escasamente con la información propioceptiva (bien por carecer de una teoría, bien por carecer de los medios) podemos incorporar curvas y variaciones de velocidad en nuestro estudio simulado, focalizar el ámbito de investigación a la relación entre impute visual y ajuste a la trayectoria, restringiendo así el alcance de nuestras conclusiones, y aceptar el riesgo de equivocarnos al despreciar la influencia de la información propioceptiva en esas condiciones.

2) Si nuestra hipótesis de estudio incluye la mera interacción hombre-vehículo con la carretera podemos eliminar la presencia de otros usuarios en el escenario. Pero si queremos que el escenario contenga otros conductores o peatones que respondan a nuestra conducta, entonces necesitamos un modelo conductual hipotético sobre como deben interactuar los otros usuarios virtuales con el sujeto del experimento. También podríamos aceptar la presencia de unos usuarios virtuales ciegos - que se mueven a "piñon fijo" y que no son más que una serie de obstáculos móviles con apariencia de vehículos pero carentes de la capacidad de respuesta e interacción inteligente como ocurre con los usuarios reales de las vías publicas.

Como podemos ver a través de estos ejemplos la simulación de un escenario puede tratar de centrarse en elementos meramente físicos como calidad del input sensorial (visual, auditivo, propioceptivo), o puede tratar de incorporar elementos psicológicos que significan la modelización de un repertorio conductual más o menos elaborado.