

Capítulo 9

Conclusiones

Como se ha podido constatar a lo largo de los capítulos que componen el presente trabajo, el desarrollo de simulaciones que incluyan agentes autónomos es un reto usualmente afrontado por grupos de trabajos dedicados a áreas específicas de desarrollo.

El haber afrontado este reto solo con la asesoría de mi tutor, y a la vista de los resultados obtenidos, representa un motivo de satisfacción por los logros alcanzados.

En este capítulo se presenta un resumen de la labor realizada, las conclusiones alcanzadas, y de los logros conseguidos durante el desarrollo de esta investigación.

9.1 Principales Aportaciones

La amplia gama de técnicas implicadas en el desarrollo de AVAs y la cantidad de trabajo que aun queda por hacer, proporciona una gran oportunidad para realizar aportaciones que contribuyan al avance en este campo, o que abran nuevos caminos que permitan explorar soluciones alternas a las tradicionales.

En este sentido, las principales contribuciones del presente trabajo al desarrollo de agentes virtuales autónomos son los siguientes:

Marco General de Simulación del Comportamiento para el desarrollo de AVAs.

Aunque el diseño de estos marcos comparten elementos comunes, tal como lo exponen Millar y sus colegas en [MILL99], la diferencia radica en cómo esos marcos están estructurados y organizan la información, y además en los elementos que incorporan.

El diseño del marco aquí presentado, MaGeS, hace una mayor separación entre la parte física y la cognitiva del AVA, que la introducida por Ángela Caicedo y Daniel Thalmann en [THAL01]; con esto se le proporciona aun mas autonomía al agente, no requiriendo ningún tipo de intervención externa para su animación, y logrando además una separación real del sistema de control del comportamiento con respecto al sistema de control físico. Esto facilita enormemente el diseño de ambos sistemas, pudiendo incorporarse cada uno a otras implementaciones desarrolladas con un mínimo de esfuerzo.

Por otro lado, los módulos en que se divide MaGeS han sido diseñados para ser más especializados; organizando y distribuyendo la información y los procesos para facilitar su comprensión y mantenimiento, consiguiendo con esto poder aumentar las capacidades del agente con un menor esfuerzo.

Motor de Conocimiento.

En general, los sistemas de simulación del comportamiento incorporan esquemas de memoria de corto, mediano, y largo término, para simular la memoria (recuerdo y olvido) de los agentes. En este trabajo se introduce un nuevo esquema de codificación de los elementos que el AVA es capaz de reconocer (basado en el esquema de codificado de los algoritmos genéticos), lo cual permite establecer un criterio de similitud o semejanza entre dichos elementos, que unido a una red neuronal a la que se aplica un algoritmo de aprendizaje no supervisado, conforman un novedoso enfoque para modelar la memoria de los AVAs. Este nuevo sistema de memoria ha funcionado bastante bien en las simulaciones realizadas, y ofrece la ventaja adicional de incorporar de manera natural grados de incertidumbre, y un proceso de olvido y reforzamiento de los recuerdos que los esquemas tradicionales no contemplan.

Esquema de Acción Selección.

Se presenta un nuevo esquema de acción selección cuya principal característica es la estructuración y procesamiento de la información para la

selección y ejecución del (o los) objetivos a llevar a cabo. El enfoque intenta potenciar el uso de modelos matemáticos para la definitiva toma de decisiones.

Rompiendo con el esquema de los grandes árboles de decisión que determinan las acciones a seguir por el agente, y basados en los parámetros que lo definen en cada momento de una simulación, el Motor de Conducta (responsable de la toma de decisión del agente) propuesto en este trabajo logra dividir y especializar cada fase del proceso de decisión para facilitar la incorporación de nuevos parámetros de personalidad u objetivos (o el mantenimiento de los que están), estableciendo nuevos criterios para la toma de decisiones que han resultado ser muy efectivos.

Estos solo han sido los aspectos mas relevantes de las principales aportaciones conseguidas con esta investigación. Sin embargo, no se puede menospreciar otras mejoras hechas a técnicas tradicionales, tal como es el caso del Método de Búsqueda de Caminos conseguido como resultado de las modificaciones efectuadas al Algoritmo A* para adaptarlo a nuestras necesidades y así reducir el costo de recalcarlo, que tan útil ha resultado al comportamiento de los AVAs.

9.2 Comparación con Esquemas Previos

A lo largo de esta tesis se han hecho referencias a trabajos innovadores que han contribuido significativamente a los desarrollos en este campo; así como a otros artículos que plantean nuevas técnicas, enfoques, y/o aplicaciones en el diseño de agentes virtuales autónomos. Todos esos trabajos han influido de alguna manera en los resultados alcanzados durante el desarrollo de esta investigación; bien sea, proporcionándonos ideas sobre nuevos caminos, o las bases sobre las cuales mejorar propuestas previas.

En este sentido, algunas características sobresalientes de nuestro trabajo son mejoras, generalizaciones, y/o modificaciones de esquemas previos. Y si bien, en la sección anterior se expusieron las principales aportaciones conseguidas con esta investigación, en esta sección las compararemos con los resultados de trabajos precedentes.

Comenzaremos con el marco general para el diseño de agentes virtuales autónomos. En el trabajo [THAL01], los autores presentan un marco de simulación en el cual hacen especial énfasis en la separación, a nivel de diseño, entre el 'cuerpo' y el 'cerebro' del AVA, explicando las bondades de este enfoque (Sección 3.1.3.3), y que siguen utilizando en [THAL04]. Sin

embargo, y tal como se muestra en la Figura 3.11, el AVA como entidad independiente solo incluye su Sistema de Comportamiento, ya que es el ACE (Ambiente Común a los Agentes) el que controla todo lo relacionado a las comunicaciones entre agentes, su control físico, y el apartado gráfico. La arquitectura MaGeS (desarrollada durante esta investigación, Figura 4.1) concibe a cada agente como una entidad totalmente autónoma, que incluye tanto su 'cuerpo' (Sistema de Control Físico) como su 'mente' (Sistema de Control del Comportamiento); de este modo, tanto su apariencia, como su desenvolvimiento dependen exclusivamente de cada agente en particular, y no de un sistema central, común a todos ellos. Con este nuevo diseño (MaGeS), las ventajas conseguidas por [THAL01] son ampliadas en todos los aspectos (suficientemente comentados en el Capítulo 4).

Por otro lado, el esquema de acción-selección aquí propuesto, representa una sustancial mejora al presentado en [GUAN04], en el cual el mecanismo de comportamiento de los personajes está fundamentado en una tabla compacta basada en descripciones y guiones (scripts) flexibles. Además, la propuesta en [GUAN04] es mucho más simple ya que está restringida a un caso particular y es dependiente del dispositivo de entrada y del entorno.

Aunque inspirado en el generador de intenciones de [TERZ94], nuestro Motor de Conducta es mucho más complejo y elaborado; combinando parámetros emocionales y conocimiento en funciones matemáticas, y descentralizando las motivaciones que conducen a la toma de decisiones se evitan los comportamientos determinísticos, derivados de esquemas centralizados y normalmente contruidos como sistemas basados en reglas, tal como ocurre en [TERZ94, TYRR94, SCHE02], siendo éstos más difíciles de actualizar a la hora de incluir nuevos objetivos.

Ahora bien, otro trabajo que presenta una estrategia de razonamiento similar a la nuestra, en el sentido de intentar dotar al AVA con la capacidad de comprender y actuar sobre su entorno es presentada en [MAHE03], solo que allí se enfocan en definir un diseño gramatical con el que representar el entorno y sus elementos, y con que el agente pueda definir su interacción con el mismo. Mientras que por el contrario, nosotros empleamos un enfoque más práctico para que el AVA reconozca el mundo que habita, definiendo un esquema de codificado general para todos los elementos del entorno, y controlando sus acciones por medio de sistemas expertos especializados para cada objetivo. Claro está que [MAHE03] está pensado especialmente para el desarrollo de mundos y agentes virtuales para juegos por internet; aunque como se comentara en la Sección 4.1.2.1, el diseño propuesto en este trabajo se adapta perfectamente a implementaciones en redes de ordenadores, por lo que se hace una propuesta en este sentido en la última sección de este capítulo.

En cuanto al sistema de memoria de corto, mediano y largo término (CML), mejorada en [BORD99] y utilizada en las primeras implementaciones de este trabajo, se desarrolló una generalización de dicho enfoque, definiendo una más compleja estructura de memoria basada en redes neuronales y utilizando K-Means como método de aprendizaje no supervisado (Sección 5.2.2), con lo que se mejora significativamente el diseño del AVA al incorporar nuevas funcionalidades y manteniendo las características del esquema CML.

Como se señalara en [THAL01] y [TRAU04], las emociones juegan un importante papel en el proceso de toma de decisiones. Y como hemos apuntado en secciones previas, aunque nuestro enfoque no está explícitamente basado en emociones, éstas son consideradas de muchas maneras. De hecho, las estrategias discutidas en [TRAU04] son incorporadas en nuestro sistema: *acción* (selecciona una acción para ser ejecutada), *planificación* (forma una intención para ejecutar algún acto), *expectación* (espera por un evento externo para cambiar las circunstancias actuales), *aceptación* (desiste de la actual intención), y *negación* (disminuye la probabilidad de un objetivo pendiente no deseado).

En resumen, las principales fortalezas del sistema propuesto en comparación con enfoques previos son:

- *Adaptabilidad y Flexibilidad*: el esquema propuesto es extremadamente flexible; los agentes pueden adaptarse a cualquier ambiente sin modificar la estructura subyacente.
- *Personalidad*: diferentes valores de parámetros y funciones conducen a diferentes personalidades, tanto en la forma de decidir sus acciones como la manera de sentir el mundo.
- *Definición de Estados Internos Humanos como funciones matemáticas*: hasta donde es de nuestro conocimiento ningún otro enfoque define y emplea los estados internos para el desarrollo de humanos virtuales, tal como se hace en este trabajo.
- *Inclusión de incertidumbre*: el manejo de la incertidumbre en los diferentes niveles del proceso de decisión, desde el manejo de conocimiento difuso, al cálculo de factibilidad de objetivos.
- *Inclusión de razonamiento*: la secuencia de acciones a ser ejecutada para alcanzar un objetivo es ejecutada por el esquema de razonamiento de cada sistema experto asociado a cada objetivo.

El campo de la vida artificial es un área de acelerado y constante progreso, y en los que los recursos con los que se cuenten muchas veces marcan el alcance de los objetivos propuestos. Pese a ello, con este trabajo se consigue aportar interesantes técnicas que resultan del interés de muchos, como se evidencia en la siguiente sección.

9.3 Publicaciones

Durante el desarrollo del presente proyecto, los resultados obtenidos han sido expuestos y presentados en varios congresos con la finalidad de ser evaluados desde un punto de vista externo, lo que nos permitió una constante mejora del trabajo en aspectos como, apartado gráfico, refinamiento de los algoritmos, mejora de los modelos desarrollados, y empleo de herramientas de desarrollo mas adecuadas.

Las publicaciones conseguidas, frutos de esta investigación, están disponibles en el CD que acompaña este trabajo, y son las siguientes:

1. **Behavioral Animation of Virtual Agents.** A. Iglesias and F. Luengo. *Proceedings of Sixth International Conference on Computer Graphics and Artificial Intelligence, 3IA'2003. Limoges, France, May 2003, pp 101-114.*

Se presenta la primera versión de MaGeS, describiendo de manera general sus componentes y funciones.

2. **A New Architecture for Simulating the Behavior of Virtual Agents.** F. Luengo and A. Iglesias. *Computational Science, ICCS'2003. Springer-Verlag (Series: Lectures Notes in Computer Science), vol 2657, pp 935-944.*

Se profundiza en la descripción de algunas componentes de MaGeS, como el Subsistema de Percepción, el Subsistema Analizador, el Subsistema de Conocimiento (el cual implementa el mecanismo de memoria de corto, mediano y largo término CML) y en los Estados Internos; mostrando como todos ellos interactúan para el logro de los objetivos.

3. **Animating Behavior of Virtual Agents: The Virtual Park.** F. Luengo and A. Iglesias. *Computational Science and its Applications, ICCSA'2003. Springer-Verlag (Series: Lectures Notes in Computer Science), vol 2669, pp 660-669.*

Se discriminan las tareas de cada modulo y se presentan simulaciones de prueba.

4. **Applying Artificial Intelligence Techniques for Behavioral Animation of Virtual Agents.** A. Iglesias and F. Luengo. *Proceedings of Seventh International Conference on Computer Graphics and Artificial Intelligence, 3IA'2004. Limoges, France, May 2004, pp 59-71.*

Se presenta un nuevo MaGeS renovado, donde se mejora el apartado gráfico, se reestructuran sus componentes haciendo una clara separación entre el SCF y el SCC, se presenta un nuevo esquema de codificado para los elementos del entorno, y se define un nuevo Motor de Conocimiento para sustituir el sistema de memoria CML por una red neuronal que ofrece mayores ventajas.

5. **Framework for Simulating the Human Behavior for Intelligent Virtual Agents. Part I: Framework Architecture.** F. Luengo and A. Iglesias. *Computational Science, ICCS'2004. Springer-Verlag (Series: Lectures Notes in Computer Science), vol 3039, pp 229-236.*

Se describen los detalles de la implementación del marco de simulación (lenguajes utilizados, consideraciones según la arquitectura, etc).

6. **Framework for Simulating the Human Behavior for Intelligent Virtual Agents. Part II: Behavioral System.** F. Luengo and A. Iglesias. *Computational Science, ICCS'2004. Springer-Verlag (Series: Lectures Notes in Computer Science), vol 3039, pp 236-244.*

Se describen los procesos y flujos de información dentro del Sistema de Control del Comportamiento de MaGeS.

7. **A New Base-on-Artificial-Intelligence Framework for Behavioral Animation of Virtual Actors.** A. Iglesias and F. Luengo. *Computer Graphics, Imaging and Visualization, CGIV'2004, Penang (Malaysia). IEEE Computer Society Press, Los Alamitos, California, pp. 245-250.*

Se describe de manera general todo el sistema de simulación, y se ilustran los resultados con varios ejemplos de simulaciones.

8. **Artificial Intelligence Techniques for Behavioral Animation of Virtual Avatars.** A. Iglesias and F. Luengo. *Proceedings of the 8th Annual National Symposium on Computational Science and Engineering, ANSCSE'2004*. pp 287-290.

Se presenta una nueva simulación mas elaborada, y se comentan la arquitectura y el sistema de comportamiento de los agentes virtuales.

9. **Intelligent Agents in Virtual Worlds.** A. Iglesias and F. Luengo. *Proceedings of CyberWorlds, CW'2004, Tokyo (Japan)*. IEEE Computer Society Press, Los Alamitos, California, pp. 62-69.

Se describe en detalle el esquema de codificado y el proceso de adquisición de conocimiento, así como el proceso de selección y ejecución de objetivos.

10. **New Goal Selection Scheme for Behavioral Animation of Intelligent Virtual Agents.** A. Iglesias and F. Luengo. *IEICE Transactions on information and Systems. Special Issue on CyberWorlds 2004 (in press)*.

Se presenta un nuevo mecanismo de acción selección, distinto a los tradicionales esquemas de esta índole. Se describen todos los módulos que lo integran y las interacciones entre ellos. Además, se detallan las funciones de los estados internos implementados y de los objetivos para la simulación de los agentes en un nuevo entorno 3D.

9.4 Futuras Líneas de Investigación

Todo desarrollo es susceptible a mejora, o por lo menos abre nuevos senderos de investigación que en el mejor de los casos conllevan a lograr descubrimientos o aportaciones que siguen enriqueciendo el campo objeto de estudio.

La animación de agentes virtuales esta lejos de ser un área donde todo esté dicho, no solo porque los desarrollos tecnológicos a nivel de hardware ofrecen cada vez nuevas herramientas que permiten explorar nuevos caminos, sino también por la diversidad de disciplinas involucradas en las técnicas que se emplean para dar “vida” a seres virtuales que gocen de

autonomía en el entorno que habitan, y que pretenden emular el comportamiento del ser vivo más complejo, el hombre.

Ahora bien, así como la motivación inicial que dio origen a este trabajo sigue vigente (explorar nuevos diseños para humanos virtuales que le permitan exhibir comportamientos realistas), cada técnica involucrada ofrece un reto en sí, como por ejemplo el diseño de un completo algoritmo de búsqueda de caminos adaptado a distintas circunstancias (como caminar entre multitudes, seguir a un líder, etc), o explorar nuevas formas de expresión como los estilos de movimiento corporal según el estado anímico del agente, o nuevos esquemas de codificado y estructuración del conocimiento que le permitan al agente un uso eficiente de dicho conocimiento; entre muchos otros.

Por otro lado, y dado el inmenso reto que supone modelar a un ser humano en todas sus características, tanto físicas como de comportamiento, aun son muchas las aportaciones que se pueden hacer. Por ejemplo, para darle continuidad a este trabajo, se puede comenzar por mejorar aun más el diseño gráfico del entorno y de los agentes, así como incorporar nuevas técnicas como la de captura de movimientos para dar mayor realismo a las simulaciones; pero mejor aun, incorporar módulos de expresión facial con los que el agente pueda exteriorizar su estado de ánimo. Por otro lado, se podría definir un esquema de criterios para el modelado de las funciones matemáticas de los estados internos y las ganas, en función de los parámetros personales y el tipo de objetivos que se desee implementar; así como también, explotar aun más la posibilidad de conocimiento difuso, y mejorar los sistemas expertos basados en ellos. Incluso, se podrían ampliar los parámetros de personalidad y la colección de objetivos, incorporando comportamientos colectivos más elaborados.

En fin, el campo de la animación del comportamiento de agentes virtuales autónomos es tan vasto, y hay tanto camino por recorrer, que las limitaciones son solo consecuencia de los recursos que se tengan (tanto humanos como tecnológicos) para abordar todo el trabajo que queda por delante.

Un proyecto interesante consistiría en desarrollar una simulación permanente de un hábitat en una red heterogénea de ordenadores, tal como internet; donde cualquier usuario de la red pudiese incluir en la simulación un AVA implementado por él mismo, claro está, bajo las directrices de MaGeS y las consideraciones del propio hábitat. De esta manera, los usuarios podrían evaluar el comportamiento de sus agentes, intercambiar códigos para mejorarlos, y someterlos a distintos entornos; logrando con ello

una forma rápida y eficaz de desarrollar modelos de comportamiento genéricos para simulaciones realistas en cualquier entorno.