

Variação do Nível de Detalhe Comportamental de Agentes em Ambientes Simulados

J. Miguel Leitão

ISEP / INESC Porto

R. S. Tomé, 4200 Porto

jml@ipp.pt

A. Augusto Sousa

INESC Porto / FEUP

Largo Mompilher, Porto

Augusto.Sousa@inescn.pt

F. Nunes Ferreira

FEUP

R. dos Bragas, 4000 Porto

fnf@fe.up.pt

Sumário

Graças aos recentes desenvolvimentos e divulgação de sistemas de síntese de imagem, é hoje vulgar a utilização de sistemas de simulação visual interactiva de médio custo com qualidade de imagem satisfatória. No entanto, na maioria destes sistemas, o realismo da simulação comportamental dos elementos autónomos virtuais incluídos e/ou o seu número fica muito aquém da qualidade das imagens geradas.

Neste artigo apresenta-se um trabalho realizado com o objectivo de conseguir uma simulação eficiente de um grande número de elementos autónomos baseados em comportamento em sistemas interactivos de tempo real. O trabalho apresentado foi especialmente orientado para a optimização da simulação de veículos e peões autónomos num simulador de condução. A técnica de optimização desenvolvida permite diminuir a capacidade de processamento necessária para a simulação de um grande número de elementos virtuais autónomos sem prejudicar o realismo perceptível nem o trabalho de preparação de cenários.

Palavras-chave

Realidade virtual, Simulação visual, Agentes autónomos, Animação

1. INTRODUÇÃO

A possibilidade de incluir participantes autónomos é crucialmente importante para o realismo de uma simulação visual interactiva [Zyda94]. Uma simulação realista da condução deve portanto incluir outros veículos para além daquele que é conduzido pelo utilizador [Alloyer97]. A adição de peões pode também ser fundamental para uma simulação convincente de determinados tipos de ambientes rodoviários.

Nos últimos anos assistiu-se a um forte desenvolvimento nas tecnologias e na acessibilidade dos sistemas de síntese de imagem. Esta evolução da capacidade de síntese de imagem foi ainda mais significativa do que a verificada na capacidade de processamento no mesmo período. Este facto permitiu uma proliferação da utilização de sistemas de simulação visual interactiva com qualidade de imagem aceitável mas, paradoxalmente, com elementos dinâmicos de baixa qualidade e em pouca quantidade.

A maioria dos sistemas de realidade virtual actuais apenas permitem ao participante movimentar-se dentro de um mundo estático e frequentemente rígido. Apenas alguns sistemas mais avançados oferecem a possibilidade de inclusão de objectos móveis ou com movimento. Os movimentos aplicados aos objectos são normalmente aplicados a partir de guiões criados especialmente para

cada caso, com a possível ajuda de software de animação. Uma vez que estes guiões têm de ser criados para todos os objectos com movimento, esta técnica de especificação torna-se impraticável para ambientes de alguma complexidade, sobretudo se for necessário considerar acontecimentos imprevisíveis provocados pela acção de participantes humanos. O processo de criação de ambientes virtuais dinâmicos e complexos pode, no entanto, ser drasticamente simplificado pela inclusão de agentes autónomos. Estes agentes, dotados de capacidade para reagir interactivamente ao ambiente envolvente, perseguir objectivos e tomar decisões com base no seu comportamento, podem ser utilizados para povoar de forma realista, ambientes virtuais extensos.

Infelizmente, a capacidade de processamento normalmente disponível nos computadores actuais não permite a simulação em tempo real de um grande número de agentes autónomos baseados em comportamento. Fica assim dificultado o povoamento adequado dos ambientes virtuais extensos cuja visualização é já possível nos actuais sistemas de síntese de imagem aliados a técnicas de aceleração como a selecção hierárquica de objectos e a variação do nível de detalhe.

Neste artigo apresenta-se o trabalho realizado com o objectivo de conseguir uma simulação eficiente de um grande número de elementos autónomos baseados em comportamento em aplicações interactivas de tempo real.

O trabalho apresentado foi especialmente orientado para a optimização da simulação de veículos e peões autónomos no simulador de condução DriS [Leitão97]. A técnica de optimização desenvolvida baseia-se no ajuste da precisão com que o modelo comportamental é resolvido, em função da distância para o ponto de observação, à semelhança do que acontece habitualmente com a selecção do nível de detalhe geométrico em sistemas de síntese de imagem; permite assim diminuir o processamento necessário para a simulação de um grande número de elementos virtuais autónomos sem prejudicar o realismo perceptível nem dificultar o trabalho de preparação de cenários.

A secção 2 deste artigo recupera algumas das técnicas utilizadas frequentemente em sistemas de síntese de imagem que são consideradas relevantes pela sua relação com a técnica de optimização da simulação comportamental proposta. Na secção 3 faz-se a extrapolação das técnicas apresentadas na secção 2 para o caso da simulação comportamental. São também referidas e comentadas algumas técnicas de aceleração da simulação comportamental conhecidas. A técnica de aceleração concebida e a sua implementação é apresentada na secção 4. Na secção 5 descreve-se o trabalho experimental realizado para avaliação de desempenho da técnica proposta e comentam-se os resultados.

2. TÉCNICAS DE ACELERAÇÃO DA VISUALIZAÇÃO

Cenas de grandes dimensões, compostas por objectos 3D complexos podem facilmente sobrecarregar até os sistemas mais poderosos de síntese de imagem assistidos por hardware, comprometendo as taxas de refrescamento exigidas pelas aplicações interactivas de simulação visual. Para ultrapassar estas limitações, são utilizadas diversas técnicas, muitas das quais são já consideradas como padrão em virtude da sua vulgarização [Foley90]. Apesar da orientação destas técnicas ser claramente distinta do objectivo da técnica de optimização proposta neste artigo, as estratégias em que algumas delas se baseiam podem ser directamente extrapoladas da síntese de imagem para a simulação comportamental.

A base de dados de representações visuais de objectos está normalmente organizada hierarquicamente numa árvore, com um volume envolvente associado a cada nó. Esta árvore pode ser herdada do processo de modelação ou pode ser criada por optimizadores de cenário que agrupam os polígonos ou grupos tendo em conta a sua localização espacial. Muitas técnicas utilizadas em diversos algoritmos de síntese de imagem tiram partido desta organização hierárquica da base de dados da cena [Leitão99].

A selecção hierárquica de objectos por teste de inclusão na pirâmide de visualização é uma destas técnicas. Nesta técnica, os volumes de inclusão são hierarquicamente testados contra a pirâmide de visualização e apenas aqueles que forem considerados como estando incluídos são admitidos para a fase seguinte do processo de síntese. A pirâmide de visualização é definida como aquela cujo vértice se encontra no ponto de visualização e cujas

superfícies laterais incluem os limites do ecrã. Para simplificar o processo de selecção e acelerar a síntese de imagem, é prática corrente a não aplicação desta técnica de selecção aos ramos mais reduzidos da árvore de objectos, por conterem um número reduzido de polígonos. A eliminação de objectos baseada apenas na distância para o ponto de observação nem sempre é uma técnica eficiente pois pode eliminar objectos que, apesar de distantes, possuam grandes dimensões e por isso sejam importantes para a imagem sintetizada.

Uma das técnicas bem sucedidas de aceleração utilizadas nos sistemas de síntese de imagem é a selecção automática do nível de detalhe dos objectos. Para isso, os objectos (normalmente representados por malhas poligonais) são definidos em múltiplos níveis de detalhe, com número de polígonos decrescente. Em tempo real, durante a simulação, é seleccionado o nível de detalhe apropriado, de forma a manter a qualidade de imagem e a evitar a sobrecarga do sistema de síntese de imagem. Esta selecção é realizada tendo em conta a distância para o ponto de observação, a resolução final pretendida e um factor de escala seleccionado. A utilização desta técnica permite normalmente um melhoramento significativo no tempo de geração de imagem mas requer a disponibilização de diversas representações para cada objecto. Essas representações podem ser criadas durante a fase de modelação. Contudo, a criação manual de vários níveis de detalhe para objectos complexos é normalmente um trabalho árduo e pouco eficiente. É portanto fundamental a utilização de ferramentas automáticas que permitam a geração automática das diferentes representações. Existem também abordagens que tentam obter em tempo-real a representação a utilizar na geração de imagem [Gobbetti99].

A técnica da variação do nível de detalhe pode ser aplicada a qualquer nível hierárquico da base de dados de objectos. Uma aplicação a baixo nível corresponde normalmente à redução do detalhe geométrico com que um objecto elementar é definido. Uma aplicação a um nível mais elevado pode ser a redução de objectos elementares com que um objecto complexo é detalhado.

Uma utilização eficiente da técnica de variação do nível de detalhe pode exigir a sua aplicação a vários níveis. Por exemplo, uma folha de uma árvore é um pequeno objecto que, para grandes distâncias, pode ser substituído por um simples polígono. No entanto, um conjunto numeroso destes objectos, como uma copa de uma árvore, pode ser substituído, com lucro evidente, por uma representação ainda mais simples do que um conjunto de muitas folhas simplificadas. Para distâncias ainda maiores, pode ser razoável eliminar completamente uma folha isolada. No entanto, a aplicação desta eliminação a cada uma das folhas de um conjunto numeroso, como uma copa, pode provocar o desaparecimento de uma floresta inteira que poderia por sua vez afectar uma percentagem significativa da área visível.

É portanto desejável que objectos complexos como a copa ou mesmo a floresta sejam simplificados como um todo em lugar de se manterem como um agrupamento de

objectos mais simples simplificados individualmente. Por outro lado, quando não for implementável a variação do nível de detalhe de objectos complexos, deve ser evitada a eliminação dos objectos simples que os compõem, sob pena de se poderem provocar efeitos desagradáveis no conjunto.

Graças à utilização de diversas representações dos objectos, com níveis de detalhe variáveis, é possível ajustar em tempo real o factor de escala do nível de detalhe, não só com base na distância para o ponto de vista, mas também em função da saturação (*stress*) da pipeline gráfica verificada durante os últimos ciclos de geração de imagem. São também conhecidos desenvolvimentos no sentido de seleccionar o nível de detalhe de cada objecto com base na previsão de custo de geração de uma imagem de forma a maximizar sempre a sua qualidade [Funkhouser93]. A capacidade para ajustar eficientemente o nível de detalhe de cada objecto, aliada à possibilidade de atraso do instante de visualização de uma nova imagem, facilitam a realização de simulações visuais com uma frequência de actualização da imagem constante e predeterminada. No entanto, em sistemas de simulação onde o processamento do comportamento dos elementos autónomos representa um peso significativo, as técnicas referidas não permitem obter a taxa de actualização de imagem desejável e muito menos garantir a manutenção desta taxa num valor fixo.

3. SIMPLIFICAÇÃO DE COMPORTAMENTOS

Uma aplicação interactiva de simulação visual pode ser decomposta em dois processos fundamentais: a síntese de imagem que se apoia normalmente em hardware dedicado e nas técnicas referidas na secção anterior, e a simulação onde o estado dos elementos constituintes da cena é actualizado. Este último processo tende a tornar-se mais crítico com o aumento de complexidade dos ambientes virtuais utilizados e a qualidade da simulação dos elementos autónomos existentes. As vantagens oferecidas pela simulação comportamental destes elementos autónomos são normalmente obtidas à custa de uma maior utilização de recursos de processamento. Para não comprometer a taxa de actualização de imagem resultante, é indispensável manter o processamento requerido por cada um destes dois processos dentro dos limites comportáveis para o hardware a que se destinam.

Na secção anterior foram abordadas técnicas de selecção dos objectos que se encontram vulgarmente aplicadas nos processos de síntese de imagem. Ideias semelhantes são também aplicadas nos processos de simulação dos sistemas que realizam as simulações (dinâmicas ou comportamentais) ou as animações, apenas dos objectos que se encontrem não muito longe do observador [Chrislip95]. Nestes sistemas, o número de objectos que vivem na cena é mantido dentro de limites aceitáveis pela destruição dos objectos que abandonam uma zona de proximidade do observador e pela então necessária geração de novos objectos dentro da mesma zona. Esta selecção de objectos sobre os quais é aplicada a simulação é independente da selecção de objectos potencialmente visíveis que é efectuada no processo de

síntese de imagem. É reconhecido que estas abordagens de selecção por proximidade apresentam algumas deficiências, quando aplicadas ao processo de simulação comportamental:

- A falta de coerência no comportamento de longo prazo (comportamento estratégico) pode, em certos casos, ser notada pelo observador humano. Por exemplo, o observador pode manter uma expectativa de encontrar, à saída de um túnel, determinados elementos autónomos que viu anteriormente a entrar pelo outro extremo. A expectativa pode no entanto ser frustrada se os elementos autónomos forem destruídos no interior do túnel ou durante um período em que se encontravam mais afastados do observador.
- A especificação de ambientes com vários elementos autónomos torna-se por vezes demasiadamente trabalhosa, uma vez que se pode revelar fundamental impor um determinado comportamento a um determinado elemento antes de ele ter sido criado, ou alternativamente, impor de forma reactiva em que instante e em que local um novo elemento deve ser gerado. Esta dificuldade prejudica bastante a criação de ambientes virtuais realistas e pode implicar a utilização de uma maior quantidade de agentes para povoar um determinado espaço [Blumberg95]. Especialmente nos simuladores de condução, a capacidade de especificação precisa de acontecimentos de tráfego é considerada fundamental para o sucesso das suas aplicações [Cremer97] [Leitão99b].
- Para que não sejam visíveis desaparecimentos inexplicáveis de objectos, os elementos autónomos não devem ser eliminados enquanto se encontram a distâncias do ponto de observação às quais ainda possam ser vistos. No entanto, para distâncias próximas do limiar de visibilidade, o comportamento de um elemento autónomo pode não ser perceptível e representa portanto um peso de processamento desnecessário.
- Como foi comentado para a técnica da variação do nível de detalhe geométrico, a eliminação de um grande número de pequenos objectos distantes pode implicar o desaparecimento de um grupo que deveria ser visível como tal. Por exemplo, um ciclista pode não ser visível quando se encontra a uma distância razoável. No entanto a sua eliminação pode provocar o desaparecimento indesejado do pelotão onde ele se integrava.

Em [Carlson97] é apresentada uma estratégia de variação do nível de detalhe com que o modelo dinâmico dos elementos animados é resolvido, mas não são considerados os problemas que possam surgir pela utilização dos modelos dinâmicos aproximados sugeridos. Esses problemas são a principal preocupação de outros trabalhos da simulação de modelos dinâmicos, embora com abordagens mais aproximadas de uma simples selecção dos objectos a simular pela inclusão no volume de visibilidade [Chenney97b]. Nenhuma destas

abordagens é aplicada a modelos comportamentais capazes de tomarem opções cujo efeito pode ser sentido apenas a longo prazo, como a que se apresenta neste artigo.

Uma abordagem mais semelhante à técnica desenvolvida e apresentada neste artigo é proposta em [Fernández99]. Nessa abordagem, também orientada para a simulação de veículos autónomos num simulador de condução, propõem-se a substituição da simulação dos veículos autónomos distantes por uma simulação de grupos de veículos, utilizando modelos macroscópicos de tráfego. Estes modelos que são estudados e utilizados em diversas aplicações de engenharia de tráfego, mantêm representações de fluxos rodoviários utilizando parâmetros como a densidade de veículos e a velocidade média [Haefner98]. Abordagens semelhantes podem ser equacionadas para outros elementos autónomos, utilizando modelos de grupo como os que podem ser encontrados em [Brogan97], aplicados a bandos ou rebanhos de animais. Estas abordagens são portanto de aplicações da selecção do nível de detalhe a um nível mais elevado do que a técnica proposta neste artigo. Por outras palavras, as abordagens que propõem a utilização de modelos de grupo diferem da apresentada neste artigo uma vez que consistem na variação do nível de detalhe dos objectos aos quais é aplicada a simulação comportamental. A técnica que se propõe na secção seguinte baseia-se na variação do nível de detalhe comportamental aplicado a cada objecto autónomo.

Por si só, as abordagens que propõem a utilização de modelos de tráfego não permitem eliminar as deficiências apontadas anteriormente à técnica vulgar da eliminação dos agentes distantes. Apenas reduzem significativamente a perda de coerência estratégica. A sua implementação obriga à utilização de mais modelos de simulação completamente diferentes dos utilizados para veículos e apenas fornecem algumas pistas que facilitam o controlo do nascimento de novos agentes que representa uma das maiores dificuldades da implementação da técnica da eliminação dos agentes distantes. Aliás, a utilização de algoritmos de tráfego para simular os fluxos rodoviários nas artérias distantes pode ser vista como uma metodologia para selecção dos instantes e dos lugares onde os novos agentes serão gerados.

4. OPTIMIZAÇÃO PROPOSTA

A utilização de diversos níveis de detalhe de comportamento é importante quando o modelo de comportamento é exigente em termos de processamento e o número de objectos controlados por comportamento é elevado. Neste caso, o tempo de processamento necessário para a resolução de todos os modelos comportamentais pode facilmente atingir valores incompatíveis com os requisitos da simulação em tempo real. A ideia da utilização de modelos de comportamento definidos em diversos níveis de detalhe surge assim da constatação de que não é necessário simular o comportamento de um objecto distante com o mesmo realismo e a mesma precisão que o de um objecto próximo. Para os objectos distantes, são toleradas

algumas imperfeições comportamentais, uma vez que estas dificilmente serão perceptíveis pelo observador humano.

Esta ideia é já conhecida e frequentemente utilizada quando aplicada ao detalhe geométrico em sistemas de síntese de imagem, conforme foi descrito anteriormente. Alguns sistemas gráficos vocacionados para aplicações de tempo-real como o VRML [VRML97] ou o SGI Performer [Hartman91] permitem que os objectos sejam definidos com diversos conjuntos de primitivas tridimensionais. Os geradores de imagem são depois capazes de seleccionar a representação apropriada de acordo com a distância para o observador.

A abordagem proposta tenta resolver os problemas atribuídos às técnicas existentes de optimização da simulação comportamental, ajustando a precisão com que o modelo comportamental é resolvido, em função da distância para o ponto de observação. Independentemente do facto de um objecto estar ou não visível, o seu comportamento é sempre simulado podendo assim movimentar-se e recuperar uma posição de visibilidade. Esta possibilidade evita os problemas da falta de coerência estratégica e da dificuldade de especificação de ambientes que podem ocorrer quando se utiliza a técnica da eliminação de objectos distantes, descrita anteriormente. Para além disso, aos objectos mais afastados são aplicados algoritmos de simulação mais simples, permitindo assim uma redução do tempo de processamento necessário para a simulação de toda a cena.

A implementação prática desta técnica de variação do nível de detalhe comportamental exige que sejam disponibilizadas várias versões do modelo comportamental para cada elemento autónomo. Estas versões deverão corresponder a diferentes níveis de complexidade computacional. De uma maneira geral a simplificação de um modelo comportamental pode ser obtido pela supressão de módulos ou tarefas internas que possam ser consideradas como não essenciais. A identificação destes módulos ou tarefas e a preparação e afinação das várias versões dos modelos simplificados é portanto um trabalho árduo, tal como acontecia com a preparação dos diversos níveis de detalhe geométrico com que um objecto pode ser representado. Infelizmente, a concepção de ferramentas genéricas automatizadas de simplificação é ainda mais complexa para os modelos comportamentais do que para as malhas poligonais utilizadas normalmente para a representação geométrica dos objectos.

No entanto, existe uma classe de modelos comportamentais para os quais é relativamente simples reduzir o processamento necessário para a obtenção de uma decisão, embora com prejuízo na qualidade da mesma decisão. Estes modelos utilizam um módulo designado por árbitro que realiza uma pesquisa num espaço de decisão para seleccionar a decisão considerada com maior qualidade [Rosenblatt97]. Limitando a pesquisa a um conjunto restrito de decisões, obtém-se normalmente uma decisão de qualidade razoável com tempos de processamento inferiores.

4.1. Implementação

Em [Leitão98] apresenta-se o modelo comportamental utilizado no controlo dos veículos autónomos no simulador de condução DriS. Este modelo utiliza quatro níveis de decisão independentes para representar os processos de decisão e de funcionamento de um conjunto condutor / veículo. Aqui descreve-se a implementação da técnica proposta de variação do nível de detalhe comportamental e a sua aplicação a este modelo dos veículos autónomos.

Tal como era esperado e como se encontra demonstrado pelas experiências realizadas, o nível táctico revelou-se o componente de um veículo autónomo mais absorvente de recursos de processamento [Sukthanker97]. Isto deverá também acontecer em agentes autónomos de outros tipos para os quais não seja essencial a qualidade das decisões estratégicas. Adicionalmente, a qualidade do comportamento de longo prazo depende essencialmente dos níveis superiores do modelo comportamental (estratégico e táctico). Por estas razões, pode-se concluir que é ao nível táctico que mais se justifica implementar a selecção do nível de detalhe.

Neste nível, utiliza-se um domínio bidimensional para representar o espaço das acções possíveis em termos de alteração da velocidade e da posição lateral, conforme representado na figura seguinte. Os limites deste espaço são os valores máximos admitidos em função da velocidade a que o veículo segue.

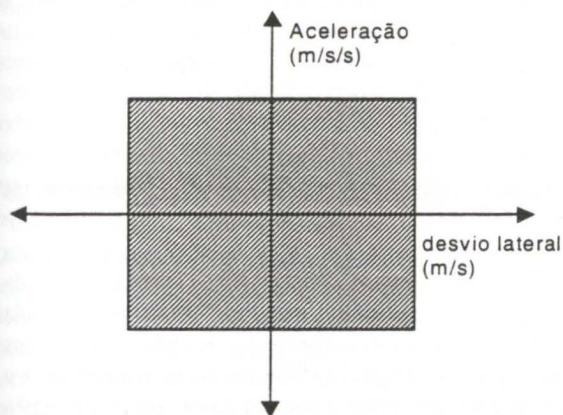


Figura 1: Espaço das acções possíveis

A acção correspondente a cada ponto do domínio é avaliada por diversos módulos independentes. A qualidade final de cada acção resulta da combinação destas avaliações. Existe depois um módulo árbitro que selecciona a acção táctica a tomar pela amostragem do espaço de decisão e escolhendo o valor mais elevado da qualidade. Variando a taxa de amostragem do espaço de decisão provoca-se uma alteração no processamento requerido para a obtenção da solução e também a precisão com que esta é tomada.

Esta forma de implementação da simplificação do modelo comportamental oferece algumas vantagens sobre as vulgares implementações das diversas representações do nível de detalhe, podendo ser considerada semelhante a algumas estratégias de variação do detalhe geométrico

em tempo real [Gobbetti99]. Em primeiro lugar, uma vez que não é necessária a preparação de diversas versões do modelo, esta implementação pode ser considerada simples, pouco trabalhosa e pouco dispendiosa em termos de quantidade de memória exigida. Para além disso, uma vez que a taxa de amostragem pode variar de forma quase contínua, esta implementação oferece um número possível de representações muito elevado, reduzindo os problemas que podem surgir devidos à comutação entre dois modelos significativamente diferentes um do outro.

Nesta implementação o espaço de decisão táctica é analisado utilizando uma grelha rectangular de amostras. Primeiro é seleccionado o número de amostras proposto (PS) que varia inversamente com a distância (d) ao ponto de observação entre um máximo e um mínimo, conforme se apresenta no gráfico da figura seguinte.

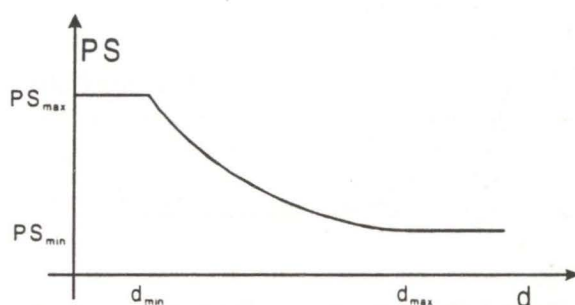


Figura 2: Variação do número de amostras com a distância

Em seguida, o espaço de decisão é amostrado segundo uma grelha rectangular uniforme, até que o número de amostras obtidas seja igual ou superior ao proposto (PS). A qualidade de cada uma das acções representadas por cada amostra é avaliada e é seleccionada a decisão com a qualidade máxima. Admite-se que o número de amostragens possa ainda crescer (PS), se nenhuma destas amostras resultar numa acção considerada como aceitável. Se todas as PS amostras receberem vetos de qualquer um dos módulos tácticos, o processo de amostragem continua até que seja obtida uma acção não vetada.

Para manter a possibilidade de selecção de acções com histerese, foi imposto que uma das amostras fosse sempre coincidente com a última acção escolhida. Os valores destas duas amostras coincidentes são adicionados, depois de um escalamento da última acção escolhida por um factor de histerese inferior a 1.

5. AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO

Para avaliar a aceleração produzida pela utilização do método da selecção automática do nível de detalhe de comportamento, foi realizada uma experiência de simulação de condução não interactiva. Esta experiência foi realizada no simulador de condução DriS utilizando veículos autónomos numa estrada em circuito fechado de mais de 11 km, cuja planta se apresenta na figura 3.

O número de amostras realizadas em cada ciclo táctico foi limitado entre 9 e 400. Para objectos localizados dentro de um raio de 40 metros da câmara, aplicou-se sempre a taxa de amostragem máxima (400 amostras).

Para os objectos exteriores a um raio de 400 metros, o número de amostras realizadas foi o mínimo admitido (9). Nos outros casos (distâncias entre 40 e 400 metros) utilizou-se um número de amostras propostas (PS) dado por:

$$PS = \left(\text{INT} \left(22.2 - \frac{d}{18} \right) \right)^2$$

Onde d se refere à distância do objecto em causa à câmara utilizada na geração de imagem.

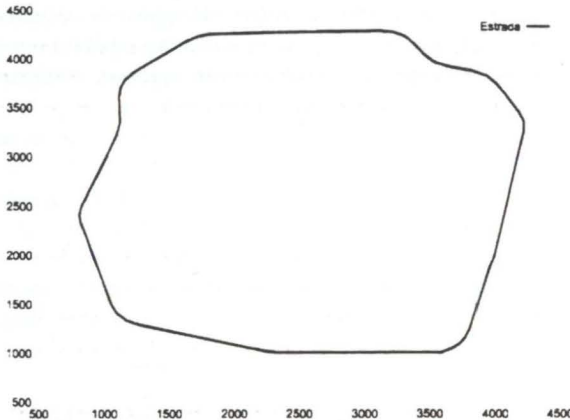


Figura 3: Planta do circuito utilizado na experiência

A experiência foi decomposta em três ensaios:

- (*nor*) mantendo todos veículos autónomos com o melhor nível de detalhe
- (*ea*) sem selecção do nível de detalhe de comportamento mas eliminando os objectos afastados
- (*ndc*) com utilização da selecção do nível de detalhe de comportamento

Utilizaram-se 78 veículos autónomos divididos pelos dois sentidos do mesmo percurso em circuito fechado. Apesar de todos os veículos resolverem internamente o modelo comportamental descrito em [Leitão98], os seus movimentos foram manipulados de forma a seguirem um percurso predefinido. Esta imposição permitiu garantir a manutenção das condições de simulação nos diversos ensaios. Um dos 78 veículos foi seleccionado para transportar a câmara utilizada para a geração da imagem. O número de amostragens realizadas pelo árbitro de cada veículo autónomo foi contabilizado e armazenado para posterior análise. Nesta contabilização excluiu-se o veículo que transportava a câmara.

Cada ensaio durou pouco mais de 24 minutos e o nível táctico foi resolvido a uma frequência de 5Hz. Foram portanto executados 7329 ciclos tácticos. O número total de amostras (TS) realizadas pelos árbitros dos níveis tácticos dos diversos veículos foi:

$$TS_{nor} = 225\,733\,200 \text{ amostras}$$

$$TS_{ea} = 14\,069\,600 \text{ amostras}$$

$$TS_{ndc} = 9\,200\,301 \text{ amostras}$$

Na figura seguinte apresenta-se um gráfico que permite comparar os número de amostras realizados em cada um dos ensaios.

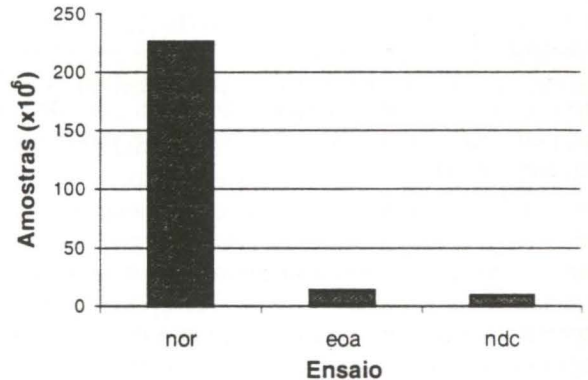


Figura 4. Número de amostras realizadas em cada ensaio

Como seria de esperar, o número total de amostras do primeiro ensaio (*nor*) corresponde à realização do número máximo de amostras (400) admitido para cada ciclo táctico de cada veículo autónomo.

$$TS_{nor} = 400 \times 77 \times 7329 = 225\,733\,200$$

Comparando TS_{ea} com TS_{nor} , constata-se que a utilização da técnica da eliminação dos elementos autónomos distantes permite uma redução do número de amostragens realizadas de cerca de 94%, quando comparada com a simulação normal de todos os veículos com o máximo nível de detalhe.

$$\frac{TS_{ea}}{TS_{nor}} = 6.23\%$$

Esta excelente redução do número de amostras realizadas é natural face às dimensões do mundo virtual utilizado. No caso da distribuição dos veículos ao longo da estrada ser uniforme pudemos obter uma aproximação da percentagem de veículos na área observável pela determinação da percentagem de estrada dentro dos limites da área observável (400m para trás + 400m para a frente). Se aproximarmos a estrada a uma linha recta esta percentagem seria:

$$\frac{800m}{11km} = 7.2\%$$

O que não fica muito distante do valor obtido para a variação do número de amostras apresentado acima. Devemos no entanto ter em atenção que esta redução do número de amostras não se traduziria directamente numa aceleração da mesma grandeza, uma vez que a utilização desta técnica obriga a processamentos adicionais. Quando se eliminam os elementos autónomos que se afastam significativamente da área observável, é necessário criar novos elementos autónomos em locais e instantes seleccionados de forma a manter o realismo da simulação. Uma escolha razoável de quando e onde criar novos elementos implica normalmente algum processamento adicional que não pode ser desprezado na

avaliação da aceleração produzida pela utilização desta técnica.

Comparando TS_{ndc} com TS_{eoa} , constata-se que a utilização da selecção de nível de detalhe comportamental no nível táctico destes veículos autónomos permitiu uma redução do número de amostragens realizadas de cerca de 35%, quando comparada com a técnica da eliminação dos elementos autónomos afastados da câmara.

$$\frac{TS_{ndc}}{TS_{eoa}} = 65.39\%$$

Quando comparada com a simulação normal de todos os veículos com o máximo nível de detalhe, a técnica da selecção do nível de detalhe comportamental mostrou provocar uma redução drástica de cerca de 96%.

$$\frac{TS_{ndc}}{TS_{nor}} = 4.08\%$$

Para avaliar a degradação da qualidade das decisões produzidas pelo modelo comportamental quando se utiliza a variação do nível de detalhe, está neste momento a ser preparada uma experiência adicional que decorrerá em dois ensaios, com e sem a utilização da variação do nível de detalhe comportamental.

Nesta experiência será utilizado um número elevado de veículos autónomos de forma a produzir uma densidade de tráfego razoável. A experiência terá uma duração suficiente para que possam ser notados os efeitos de acumulação temporal dos erros introduzidos pela variação do nível de detalhe comportamental. Durante toda a experiência serão recolhidos parâmetros como a posição lateral do veículo relativamente ao eixo da via e a sua velocidade. Estes dados serão depois analisados estatisticamente.

Deve no entanto ser notado que, à semelhança das considerações apresentadas em [Carlson97] e em [Chenney97b] para as metodologias respectivas, uma métrica precisa da degradação introduzida pelo método será muito difícil de concretizar. Nem todos os desvios introduzidos pelo método serão visíveis para o utilizador. Há no entanto desvios que podem ser acumulados ao longo do tempo de forma a tornarem-se perceptíveis no futuro ou a prejudicar o desempenho expectável de outros agentes reactivos.

Nem todos os desvios são sentidos por um observador humano da mesma forma. Quando um elemento autónomo reentra numa zona de visibilidade após um período de ausência, o seu estado é comparado com o estado expectável pelo observador, face às últimas observações realizadas. Se o período de invisibilidade for muito longo, aumenta a incerteza sobre o estado expectável e mesmo os desvios anormais podem-se tornar imperceptíveis.

6. CONCLUSÃO

Neste artigo apresentou-se o trabalho realizado com o objectivo de conseguir uma simulação eficiente de um

grande número de elementos autónomos baseados em comportamento em aplicações interactivas de tempo real. O trabalho apresentado foi especialmente orientado para a optimização da simulação de veículos e peões autónomos no simulador de condução DriS. A técnica de optimização desenvolvida baseia-se no ajuste da precisão com que o modelo comportamental é resolvido, em função da distância para o ponto de observação, à semelhança do que acontece habitualmente com a selecção do nível de detalhe geométrico em sistemas de síntese de imagem.

A experiência descrita demonstrou que a aplicação da técnica proposta de variação do nível de detalhe comportamental permite diminuir significativamente o processamento necessário para a simulação de um grande número de elementos virtuais autónomos sem prejudicar o realismo perceptível nem dificultar o trabalho de preparação de cenários.

7. REFERÊNCIAS

- [Alloyer97] Olivier Alloyer, Esmail Bonakdarian, James Cremer, Joseph Kearney, Peter Willemsen. *Embedding Scenarios in Ambient Traffic*, Proceedings of DCS'97 (Driving Simulation Conference), Lyon, France, Setembro de 1997
- [Blumberg95] Bruce M. Blumberg, Tinsley A. Galyean. *Multi-Level Direction of Autonomous Creatures for Real-Time Virtual Environments*, ACM Computer Graphics (Siggraph'95 Proceedings), 30(3), pp. 97-101, 1995
- [Brogan97] David C. Brogan, Jessica K. Hodgins. *Group Behaviors for Systems with Significant Dynamics*, Autonomous Robots, 4, 137-153 Kluwer Academic Publishers, Boston, 1997
- [Carlson97] Deborah A. Carlson, Jessica K. Hodgins. *Simulation Levels of Detail for Real-time Animation*, Proceedings of the Graphics Interface'97 Conference, 1997
- [Chenney97] Stephen Chenney, David Forsyth. *View-Dependent Culling of Dynamic Systems in Virtual Environments*, Symposium on Interactive 3d Graphics, Providence, RI, April 1997
- [Chenney97b] Stephen Chenney. *Culling Dynamical Systems in Virtual Environments*, MsC thesis, University of California at Berkeley, 1997
- [Chenney98] Stephen Chenney, Jeffrey Ichnowski, David Forsyth. *Efficient Dynamics Modeling for VRML and Java*, 1998 Symposium on the Virtual Reality Modeling Language, Monterey, CA, February 1998
- [Chrislip95] Christopher Allen Chrislip, James Frederick Ehlert, Jr. *Level of Detail Models for Dismounted Infantry in NPSNET-IV.8.1*, MSC Thesis, Naval Postgraduate School, 1995
- [Cremer97] James Cremer; Joseph Kearney, Peter Willemsen. *Directable Behavior Models for Virtual Driving Scenarios*; Transactions of the Society of Computer Simulation International, 14(2) pp. 87-96, 1997.

- [Fernández99] Marcos Fernández, Inmaculada Coma, Gregorio Martín, Salvador Bayarri. *A Hierarchical Object Oriented Architecture for the Management of Complex Driving Simulation Scenarios*, Proceedings of the DSC'99 (Driving Simulation Conference), Paris, 1999.
- [Foley90] Foley, van Dam, Freiner, Hughes, *Computer Graphics, Principles and Practice - 2nd Edition*, Addison-Wesley, 1990
- [Funkhouser93] Thomas A. Funkhouser, Carlo H. Séquin, *Adaptive Display Algorithm for Interactive Frame Rates During Visualization of Complex Virtual Environments*, ACM Computer Graphics (Siggraph'93 proceedings) pp. 247-254, 1993
- [Gobbetti99] Enrico Gobbetti, Eric Bouvier. *Time-critical Multiresolution Scene Rendering*, IEEE Visualisation'99 pp123-130, 1999
- [Haefner98] Lonnie E. Haefner, Ming-Shiun Li. *Traffic Flow Simulation for an Urban Freeway Corridor*, Proceedings of the 1998 Transportation Conference, 1998
- [Hartman91] J. Hartman, P. Creek. *IRIS Performer Programming Guide*, Document Number 007-1680-020, Silicon Graphics Incorporated, Mountain View, CA. November 1991.
- [Leitão97] J. Miguel Leitão; A. Coelho; F. N. Ferreira; *DriS - A Virtual Driving Simulator*; Proceedings of the Second International Seminar on Human Factors in Road Traffic, ISBN 972-8098-25-1, Braga, Portugal, 1997
- [Leitão98] J. Miguel Leitão, F. Nunes Ferreira. *Agentes Autónomos em Ambientes Artificiais*, Actas do 8º Encontro Português de Computação Gráfica, Coimbra, 1998
- [Leitão99] J. Miguel Leitão, A. Augusto Sousa, F. Nunes Ferreira. *An Image Generation Sub-system for a Realistic Driving Simulator*, Proceedings of the International Conference on Imaging Science, Systems and Technology (CISST'99), Las Vegas, ISBN 1-892512-19-X, CSREA Press, 1999.
- [Leitão99b] J. Miguel Leitão, A. Augusto Sousa, F. Nunes Ferreira. *A Scripting Language for Multi-level Control of Autonomous Agents in a Driving Simulator*, Proceedings of the DSC'99 (Driving Simulation Conference), Paris, Julho de 1999.
- [Rosenblatt97] Julio K. Rosenblatt, *DAMN: A Distributed Architecture for Mobile Navigation*, Ph.D. Thesis Carnegie Mellon University, Pittsburg, CMU-RI-TR-97-01, 1997
- [Sukthanker97] Rahul Sukthanker; *Situation Awareness for Tactical Driving*; Ph.D. Thesis, Robotics Institute, Carnegie Mellon University, Pittsburgh, 1997
- [VRML97] *Virtual Reality Modeling Language*, International Specification ISSO/IEC IS 14772-1, December 1997.
- [Zyda94] Michael J. Zyda, D. R. Pratt, J. S. Falby, C. Lombardo, K. Kelleher. *The Software Required for the Computer Generation of Virtual Environments*; Presence, Vol. 2, No. 2, 1994