

NAVEGAÇÃO EM GRANDES TERRENOS VIRTUAIS COM COERÊNCIA ESPAÇO-TEMPO

Joaquim Muchaxo

jm@fct.unl.pt

Emanuel A. Marques dos Santos

es@fct.unl.pt

Manuel João Próspero

ps@fct.unl.pt

Universidade Nova de Lisboa
Faculdade de Ciências e Tecnologia
Departamento de Informática
P-2825 Monte de Caparica

Sumário

Nesta comunicação apresenta-se uma metodologia para a navegação em Realidade Virtual sobre terrenos de grandes dimensões, através de simplificação por níveis de detalhe, e que estabelece a coerência espaço-tempo.

Apresentam-se ainda resultados obtidos da implementação do método de simplificação por níveis de detalhe do terreno escolhido, a avaliação estatística do método de previsão que estabelece a referida coerência espaço-tempo e as intenções para trabalhos futuros.

Palavras chave: Realidade Virtual, Sistemas de Informação Geográfica (GIS), nível de detalhe, sucessões cronológicas.

1. Introdução

Esta comunicação está relacionada com os projectos Coast e Virtual Tejo, os quais estão a ser desenvolvidos na UNL conjuntamente pelo Departamento de Informática e pelo Grupo de Análise de Sistemas Ambientais (GASA). Pretende-se simular ecossistemas utilizando Realidade Virtual, com o objectivo de permitir que o utilizador desempenhe um papel activo no desenrolar da acção. Os ecossistemas envolvidos correspondem ao estuário do Sado e ao estuário do Tejo. Nestes projectos o utilizador tem a possibilidade de percorrer o ecossistema sem estar limitado a uma área ou secção do mesmo.

A navegação em terrenos de grandes dimensões ou definidos por uma malha de polígonos apertada (de elevada resolução) é o objectivo desta comunicação, sendo aplicável, de forma geral, a todos os Sistemas de Informação Geográfica (GIS) em que, associados a estes terrenos, estejam uma ou mais camadas de informação, sob a forma de texturas de dimensão considerável.



2. Motivações

Ao filmar recolhe-se um número fixo de imagens por segundo posteriormente afixadas com o mesmo espaçamento temporal. Esta correspondência entre o tempo de recolha e o tempo de afixação das imagens torna possível avaliar a velocidade de um objecto filmado, por análise das suas posições, à luz dos intervalos de tempo assumidos entre as imagens.

Em Realidade Virtual há um processo de actualização da imagem afixada em que, para transmitir movimento, se modificam o ponto de observação e as características dos objectos retratados. Na representação de modelos complexos, os tempos de afixação de imagens podem ser variáveis [Funkhouser 93]. Para actualizar correctamente os modelos (coerência Espaço-Tempo) é necessário prever o tempo que decorre até afixar a imagem que contém as actualizações.

A quantidade de informação que é necessário processar em cada passo da simulação atrasa a criação de imagens em tempo real. Os tempos de actualização de imagem podem ser diferenciados, não só devido ao número de polígonos visíveis de diferentes pontos de observação ser variável, como também porque uma simulação envolve a modificação dos modelos (forma, posição, orientação, textura aplicada, etc.).

Por outro lado, para navegação em grandes terrenos virtuais, o utilizador não deve estar limitado a percorrer uma pequena secção do mesmo devido à impossibilidade de representação de todo o terreno. Deve, antes, poder navegar livremente em todas as direcções. Na visualização em perspectiva, o detalhe observável para um objecto varia inversamente com a distância deste ao ponto de observação. Por isso, utilizar para zonas distantes informação não identificável visualmente desperdiça recursos. Para evitar este desperdício, aplica-se uma partição ao terreno e à respectiva textura, possibilitando simplificar ou detalhar cada elemento da partição. A simplificação tanto é feita para o modelo geométrico como para a textura.

A partir de uma certa distância, a geometria de um objecto não é perceptível, à excepção do seu contorno, e pode ser substituída por um polígono com a textura do objecto. Entre o ponto de observação e essa distância podemos simplificar sucessivamente a geometria reduzindo o número de polígonos a que é aplicada a textura. Assim, mantém-se o detalhe por texturas diminuindo-se o detalhe geométrico.

3. Método de simplificação dinâmica do terreno

Pela elevada exigência de recursos, as capacidades de armazenamento e processamento de informação dos sistemas computacionais utilizados em realidade virtual são,

de uma forma geral, limitadas. Isto traduz-se na necessidade de restringir a complexidade dos cenários de forma a conseguir tempos de actualização de imagem aceitáveis.

Para uma determinada perspectiva, a complexidade visual dum terreno a partir de um ponto de observação depende apenas da resolução utilizada para a representação do mesmo. Por outras palavras, depende apenas da frequência espacial a que são recolhidas as amostras de altimetria.

A forma mais simples de limitar a complexidade da representação é diminuir-se a resolução do terreno original utilizando médias por zona, representando uma zona pequena por uma só amostra. Uma solução será o estabelecimento de uma partição no terreno e a utilização de uma resolução diferente para cada parcela do mesmo, consoante a distância ao observador. Hughes propõe uma solução deste tipo [Hughes 93].

Estas abordagens introduzem erros, particularmente na definição da linha do horizonte. É necessária uma simplificação conveniente por níveis de detalhe, atendendo a que a malha de polígonos para uma parcela de terreno deve ser mais ou menos apertada consoante a irregularidade dessa zona, aproveitando ao máximo toda a resolução de que se dispõe.

A definição da malha de polígonos que é criada num certo nível de detalhe para uma parcela de terreno é dependente da resolução da matriz de altimetria associada, ou seja, da quantidade de informação de que se dispõe para essa parcela. Para resoluções elevadas, o cenário a representar pode ter uma complexidade prejudicial à cadência de actualização de imagem, pelo que é necessário utilizar níveis de detalhe inferiores àquele que deveria ser observável.

A utilização de um nível de detalhe geométrico inferior àquele que deveria ser observável tem como consequência a representação dum modelo ligeiramente diferente. Por isso, é necessário forçar a continuidade entre cada dois elementos adjacentes na partição do terreno. O método descrito na secção seguinte simplifica o modelo geométrico das parcelas de terreno, garantindo a continuidade entre parcelas adjacentes.

3.1. Método de triangulação

Uma das características mais importantes do método é a de produzir uma representação mais simples, com um detalhe o mais aproximado possível do detalhe observável sem simplificação. Consegue-se, assim, uma representação fidedigna da linha do horizonte para um determinado ponto de observação. Além disso, procurou-se torná-lo bastante simples, de modo a ser apropriado para funcionamento em tempo real.

A modificação das malhas de polígonos das parcelas de terreno em tempo real possibilita uma representação dependente do ponto de observação. Tal não é possível para um método de simplificação em que as malhas de polígonos das parcelas de



terreno são criadas em pré-processamento, visto ser impossível determinar o percurso virtual do utilizador.

O método de simplificação para as texturas correspondentes a cada parcela do terreno limita-se a diminuir a escala nas dimensões da textura, segundo um processo normalmente utilizado para o efeito [Foley 90].

Na simplificação do modelo geométrico, uma matriz de altimetria é dividida em várias sub-matrizes pequenas, para que seja possível modificar o detalhe de cada parcela de terreno em função da distância ao observador. No sentido de manter as características do terreno, é necessário preservar as características de cada parcela. Visto a sub-matriz que corresponde à mesma ser um espaço de amostragem pequeno, a construção de uma malha de polígonos, para um determinado nível de detalhe, utilizando métodos convencionais (tais como a simplificação utilizando médias por zona ou a representação apenas das características fundamentais obtidas pela inversão da transformada rápida de Fourier [Brigham 88]) altera significativamente o aspecto do terreno.

No método adoptado, o nível de detalhe de partida (nível 0) para uma parcela de terreno é obtido dividindo o quadrilátero correspondente ao espaço abrangido pela mesma em dois triângulos. O nível de detalhe seguinte (N) é sempre obtido a partir do anterior (N-1) por construção duma nova malha de polígonos: criam-se três novos triângulos a partir de cada triângulo utilizando os vértices deste e um ponto que lhe é interior (relativamente ao espaço 2D da matriz de altimetria). Este ponto, escolhido entre os da matriz de altimetria, é aquele que fica mais distante do plano definido pelo triângulo. No caso de todos os pontos nestas condições estarem sobre o plano do triângulo nenhuma subdivisão é efectuada.

3.1.1. Características da implementação do método de triangulação

Para encontrar rapidamente o ponto de divisão atrás referido, é percorrida a matriz de altimetria correspondente à parcela de terreno a que este pertence através dum algoritmo de varrimento por linha (*scan-line*). Dessa forma, são testados apenas os pontos interiores ao triângulo, sendo interpolados os valores de altimetria nas arestas do mesmo de modo a que o ponto de divisão possa também estar sobre elas. Este pormenor é importante, pois, se tal não acontecesse, uma aresta que não tivesse pontos com coordenadas inteiras nunca seria quebrada, fazendo sempre parte da triangulação final.

Para inverter o processo de divisão dos triângulos, devem ser guardados os níveis de subdivisão de todos os vértices, valores estes que correspondem ao nível de detalhe em que cada vértice da malha de polígonos foi criado.

Retirar um nível de detalhe (ou simplificar) a malha de polígonos de uma parcela de terreno consiste em reunir os polígonos gerados ao aumentar um nível de detalhe, desfazendo as divisões efectuadas. O nível de subdivisão de um polígono é o nível de subdivisão do vértice de maior nível, o qual é sempre guardado como primeiro vértice do polígono e corresponde ao ponto que foi usado para subdivisão.

Simplificar uma parcela de terreno consiste em detectar polígonos consecutivos na lista de polígonos da mesma, a qual é mantida pelo sistema de Realidade Virtual. Verifica-se se estes têm o nível de subdivisão pretendido e se o primeiro vértice é o mesmo para todos eles. Caso se verifiquem estas condições, trata-se de polígonos gerados numa subdivisão e podem ser reunidos para criar um só polígono. Retirar detalhe não interfere com a veracidade do modelo, pois essas considerações já foram tomadas ao detalhar a malha de polígonos.

Quando o ponto escolhido está sobre uma aresta dum triângulo, surgem discontinuidades no terreno se o outro triângulo que partilha essa aresta não for dividido por esse mesmo ponto. No caso de ser um ponto que não esteja na fronteira da parcela de terreno, ele é guardado numa tabela de *hash* com uma chave que é função da aresta, para que o triângulo que partilha essa aresta seja dividido nesse ponto. O ponto é então retirado da tabela de *hash*. Esta tabela fica vazia quando todos os triângulos da parcela do terreno estão subdivididos.

Para evitar discontinuidades entre parcelas de terreno, a malha de polígonos de uma parcela só deve ser substituída quando todas as parcelas adjacentes tiverem definidas as suas fronteiras com a mesma. Reciprocamente, a modificação do detalhe de uma parcela envolve a modificação do detalhe das parcelas adjacentes caso sejam criados vértices sobre uma fronteira partilhada com uma das mesmas. Garantem-se estas condições aplicando um varrimento do terreno, primeiro por linhas e depois por colunas, relativamente à divisão efectuada em pequenas parcelas de terreno. Durante este varrimento é modificado o detalhe de cada parcela, caso seja necessário.

O varrimento é feito atendendo ao seguinte: ao detectar-se uma parcela que deve passar a ter um detalhe diferente, a respectiva malha de polígonos é actualizada como descrito anteriormente. São, então, marcadas para modificação as parcelas adjacentes, à direita e em baixo, caso estas precisem de ser reavaliadas por terem sido criados novos vértices na fronteira comum. Quando forem determinadas todas as malhas de polígonos de uma nova linha de parcelas de terreno, é então possível substituir todas as malhas de polígonos antigas das parcelas da linha anterior pelas malhas de polígonos criadas quando do processamento da mesma.

A detecção da criação de novos vértices sobre a extremidade de uma parcela de terreno é feita através da verificação da existência do vértice numa tabela de *hash*. Esta



tabela guarda os vértices não partilhados. Sempre que é criado ou retirado um vértice sobre uma extremidade da parcela de terreno, o vértice pode pertencer apenas a esta parcela, pelo que deve ser inserido na tabela, ou pertencer também à parcela que partilha esta extremidade, devendo ser retirado da mesma.

Esta informação é depois usada para modificação das malhas de polígonos das parcelas adjacentes, sendo utilizados os pontos na tabela de *hash* para subdividir os triângulos sobre cujas arestas aqueles se situem. Esses triângulos são os que têm pelo menos uma aresta sobre uma extremidade da parcela de terreno respectiva e possuem um ponto, nessa aresta, que está na tabela de *hash*. Os pontos a verificar são poucos: os vértices possíveis sobre uma extremidade são apenas aqueles que têm coordenadas inteiras (ou seja, aqueles cujo valor de altitude está na respectiva matriz de altimetria).

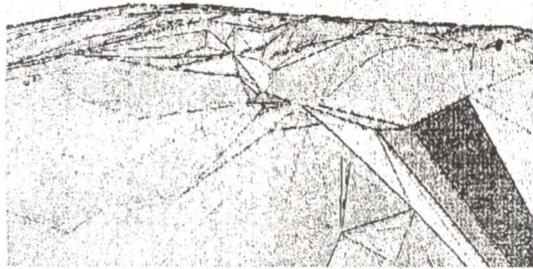
3.1.2. Avaliação do método de triangulação

É este método simples de triangulação que permite que o aspecto da altimetria do terreno seja perceptível com apenas alguns níveis de detalhe. Sendo o detalhe complementado à medida que o observador se aproxima, comporta-se como a triangulação fractal para geração de terrenos [Peitgen 92], nomeadamente na obtenção de um nível de detalhe maior ou menor a partir do nível de detalhe corrente.

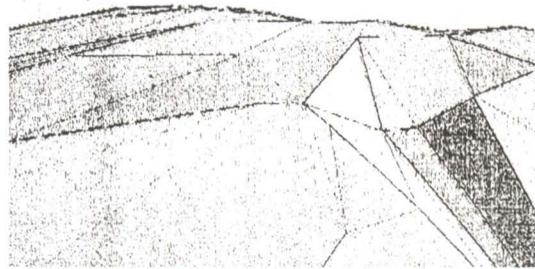
A Figura 1 representa a geometria do terreno com diferentes níveis de detalhe consoante a distância. Nas Figuras 1a), 1b) e 1c) suprimiram-se, respectivamente, cinco, oito e dez níveis de detalhe a todas as parcelas de terreno relativamente ao nível de detalhe que deveria ser utilizado (o qual é função da distância ao observador).

Nas Figuras 1d) 1e) e 1f), depois da aplicação de texturas, respectivamente, a cada uma das representações anteriores, não são notórias muitas diferenças entre as mesmas, podendo concluir-se que é possível obter uma representação bastante aproximada, utilizando apenas alguns níveis de detalhe para a geometria do terreno. As texturas aplicadas são próprias de cada parcela em que este o terreno está organizado, sendo-lhes aplicada uma mudança de escala consoante a distância ao observador. Tal operação é realizada para poupar recursos computacionais.

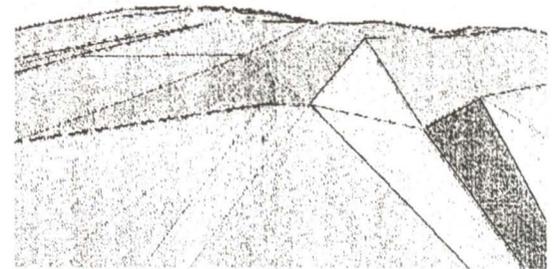
Este método de simplificação por níveis de detalhe tem a vantagem de não necessitar de informação de vizinhança para nenhum dos passos realizados. Contudo, se ela for imprescindível (por exemplo, para efectuar simulações com a informação de altimetria e as texturas mapeadas sobre o terreno), poderão derivar-se métodos semelhantes aos utilizados para as *quadrees* que permitam obtê-la [Peuquet 90]. Tal é possível porque as subdivisões efectuadas para fazer a triangulação são recursivas e porque existe uma ordem fixa de ordenação dos polígonos, a qual está relacionada com a sua distribuição espacial. O estudo desta propriedade do método será aprofundado num futuro próximo.



a)



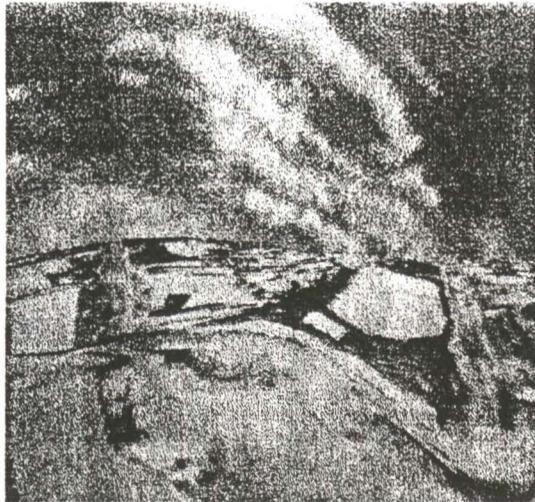
b)



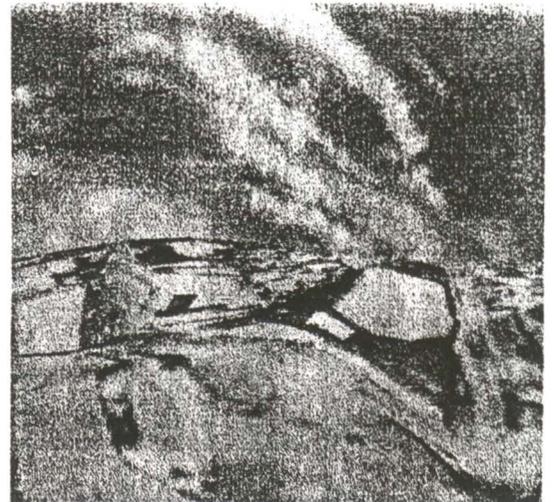
c)



d)



e)



f)

Figuras 1 a) b) e c) - Aspectos da geometria do terreno com diferentes níveis de detalhe. d) e) e f) são os aspectos respectivos depois da aplicação de uma textura.

3.2. Controlo da obtenção de detalhe

No primeiro protótipo do método acabado de expor foi utilizado um tamanho fixo para cada parcela de terreno, isto é, a matriz de altimetria original foi dividida em sub-matrizes de tamanhos idênticos. Para sistemas com pouco desempenho e um só processador, inserir na simulação a malha de polígonos de uma grande parcela de terreno (e para um nível de detalhe elevado) poderá atrasar demasiado a afixação da imagem seguinte, pelo que se devem utilizar sub-matrizes pequenas. Tal acontece porque o sistema de Realidade Virtual precisa geralmente de preparar variada informação, a qual é utilizada para a visualização dos modelos.

A conseqüente utilização de pequenas parcelas de terreno implica a utilização de um detalhe excessivo a partir de uma certa distância e até à linha do horizonte, o qual não é observável e prejudica a cadência de actualização de imagem. Para isto, encontra-se em estudo uma pequena modificação para utilizar parcelas de terreno maiores a grandes distâncias, necessitando da simplificação das matrizes correspondentes para matrizes mais pequenas. Utilizam-se, para tal, os máximos e os mínimos locais, mas nunca as médias, pois pretende-se representar com rigor a linha do horizonte.

Para sistemas de mais de um processador (ou utilizando dois computadores em rede), este problema não se põe. Poderão criar-se duas simulações idênticas, em que alternadamente uma modifica as parcelas de terreno e a outra afixa imagens. Quando a primeira tiver as modificações feitas, trocam de funções. Contudo, a utilização de parcelas de terreno maiores para zonas distantes é sempre vantajosa, permitindo nomeadamente que, no futuro, seja possível realizar simulações a várias escalas ao mesmo tempo com altimetria e outros tipos de informação geográfica mapeada sobre o terreno.

O número de parcelas de terreno que necessitam de mudança de detalhe e a complexidade das operações a efectuar para o efeito variam durante a navegação. Como consequência, podem aumentar bastante os tempos de actualização de imagem, prejudicando a percepção de movimento e, de uma forma geral, a interactividade. Torna-se assim necessário, para sistemas de um só processador, distribuir as tarefas de modificação de detalhe, de diferentes parcelas de terreno, durante vários ciclos de actualização de imagem.

O método utilizado para tal consiste na criação de uma heurística $h(i)$ que avalie a complexidade de cada modificação i , limitando a complexidade C das modificações a efectuar, ou seja, limitando o número destas (N), por um majorante M que é um valor sujeito a alisamento exponencial ao longo dos ciclos de actualização de imagem. Isso é

traduzido pela equação b), na qual M' representa o valor deste majorante para o próximo ciclo:

$$\text{a) } C = \sum_{i=1}^N h(i) \leq M \qquad \text{b) } M' = 0.2 C + 0.8 M$$

Para aumentar a interactividade e a percepção de movimento também é necessário limitar adaptativamente o nível de detalhe máximo para as parcelas de terreno. Este limite é estabelecido em função dos tempos de actualização de imagem que estão a ser obtidos. Como consequência desta limitação, consegue-se a diminuição do detalhe observável quando o utilizador se desloca a uma velocidade elevada. Embora não seja possível reduzir eficazmente o detalhe do cenário logo que o utilizador adquira uma velocidade maior, passado um certo espaço de tempo de simulação isso já será realizável.

4.1. Previsão do tempo de actualização da imagem corrente.

Em Realidade Virtual, o Sujeito responde aos dados visuais que o sistema de simulação lhe fornece. Do mesmo modo que sucede na realidade, o Sujeito recorre à avaliação visual do espaço percorrido para redefinir a sua velocidade. As acelerações instantâneas a que este se sujeita com a intenção de corrigir o seu movimento resultam dessa avaliação.

A distância (virtual) entre os centros de projecção de imagens consecutivas é, pelas leis da Física, um parâmetro para calcular a velocidade instantânea a que se desloca o Sujeito, juntamente com o tempo decorrido entre a apresentação das imagens. Se esse tempo for constante, como no cinema (24 imagens por segundo), o espaço é o único parâmetro que varia e as variações da velocidade dependem unicamente da variação do espaço percorrido.

As imagens, em Realidade Virtual, são geradas durante a simulação e o tempo entre cada par de imagens pode variar significativamente. Para manter a coerência entre o espaço percorrido e a velocidade do movimento é necessário saber, antes de compor a imagem, o instante em que será apresentada. É necessário prever o tempo que a composição da próxima imagem irá levar para, antes de iniciar esse processo, serem conhecidas as posições futuras dos objectos em cena, assim como do centro de projecção correspondente à posição virtual do Sujeito. O cálculo dessas posições é feito recorrendo às equações da Cinemática considerando a previsão do tempo de actualização de imagem, o que permite estabelecer a coerência espaço-tempo.

O processo de composição de cada imagem apresentada ao Sujeito tem parcelas identificáveis: introdução de novos objectos na cena, acessos a discos rígidos e *rendering* da cena. O tempo que o *rendering* de uma imagem demora (tempo de *rendering*) é uma parcela do tempo de actualização de imagem. Mas a quantidade,



natureza e dificuldade de ponderação dos factores de que depende o tempo de *rendering* dificulta uma estimativa exacta do tempo de actualização de imagem.

Pretende-se prever, com base nos tempos anteriores de actualização de imagem, o valor do termo seguinte na sucessão destes. Para tal, consideramos a mesma como uma sucessão cronológica (*Time Series*) [Lewis 75][Makridakis 89][Montgomery 76][Newbol 93][Wei 93]. Os valores da sucessão reflectem a influência conjunta dos factores e não é necessário considerá-los em separado, sendo suficiente considerar os valores anteriores na sucessão para a previsão pretendida. Após o conhecimento do último tempo de actualização de imagem, o seu valor é colocado na sucessão e considerado para a previsão do tempo seguinte.

A introdução de métodos de previsão nas simulações em Realidade Virtual não deverá influenciar significativamente os tempos de actualização de imagem. Por outro lado, o método deverá ser totalmente automático para que não seja necessária a intervenção do analista para o calibrar. O método de Alisamento Exponencial foi, por essas razões, o escolhido [Newbol 93].

4.1. Aplicação do método de previsão

Nas sucessões obtidas como amostras não foram detectadas sazonalidades ou tendências, possibilitando a utilização de Alisamento Exponencial Simples que efectua uma média ponderada dos termos da sucessão, com pesos decrescentes à medida que são considerados termos mais antigos.

Quando as constantes de alisamento são determinadas para uma sucessão, o algoritmo pode ser utilizado sem intervenção do analista para calibrar o método, mas prejudicando, dessa forma, a sua precisão. Para conseguir o controlo adaptativo das constantes de alisamento utiliza-se o Método Adaptativo de Controlo de Previsão proposto por Trigg e por Leach, que utiliza o Sinal de Alerta do Erro Alisado proposto por Trigg [Lewis 75][Makridakis 89][Montgomery 76][Newbol 93][Wei 93].

Este método alerta o algoritmo para a necessidade de se autocalibrar quando os erros da previsão são considerados grandes. Mas coloca-se uma questão: qual o valor correspondente a 'grande'? O Sinal de Alerta do Erro Alisado tem por base o Alisamento Exponencial Simples do erro observado e o facto de um erro ser ou não considerado grande é expresso pela Constante de Alisamento. Esse valor pode ser obtido para uma aplicação, como aqui se fez, e ser considerado para todas as execuções da mesma. Para esta aplicação, e com vista a minimizar a soma dos quadrados dos erros observados, o valor usado é 0.012883 [Lewis 75][Makridakis 89][Montgomery 76][Newbol 93][Wei 93].

Os métodos de previsão por sucessões cronológicas pretendem colocar o valor estimado dentro de um intervalo de confiança e não prevêm valores exactos. No

gráfico da Figura 2 distinguimos o afastamento entre a previsão e os valores que constituem a sucessão cronológica.

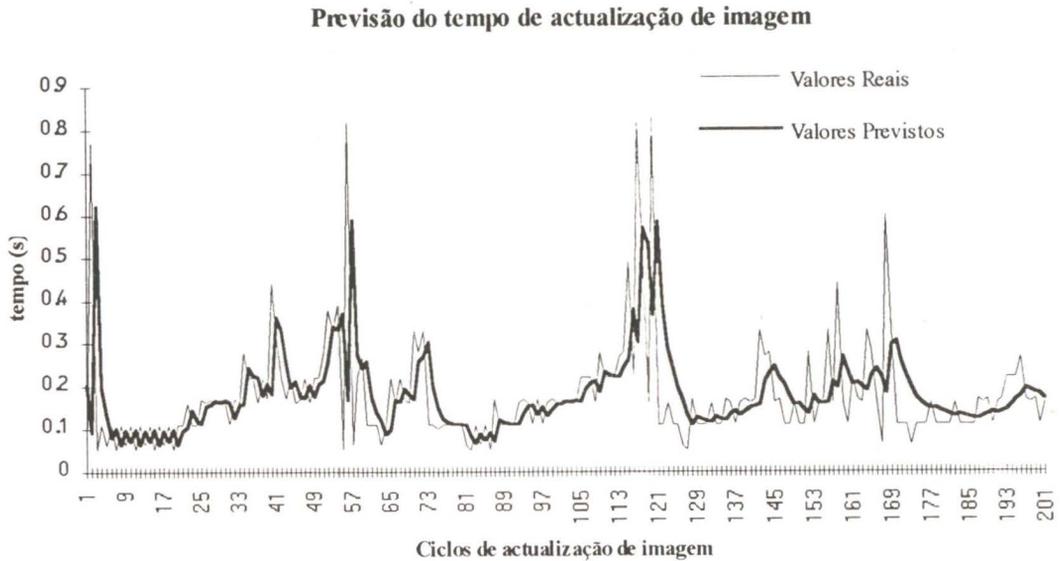


Figura 2 Gráfico temporal.

Quando se regista uma alteração relativamente ao valor anterior, e depois de um período de convergência que poderá demorar vários ciclos, o valor da previsão, efectuada com base nos valores correspondentes aos ciclos (de actualização de imagem) anteriores, aproxima-se do valor que irá ser medido quando a imagem for afixada.

4.2. Avaliação do método de previsão

Nas experiências efectuadas e com as amostras obtidas, menos de 5% dos erros observados não pertenceram ao intervalo de confiança determinado com base no valor da constante do Sinal de Alerta do Erro Alisado [Newbol 93]. Para esta aplicação e para o valor 0.012883 da Constante de Alisamento, o intervalo de confiança determinado para um nível de significância de 5% é de -0.1893 a 0.1893.

Quando os tempos de actualização da imagem variam significativamente, as amostras dos valores devolvidos pelos sensores estarão desigualmente espaçadas no tempo e impossibilita a abordagem seguida por Azuma e Bishop [Azuma 94] e por Liang et al [Liang 91] para a previsão de posições e orientações. Nestes casos, outros métodos têm de ser considerados e eles serão abordados num trabalho futuro.



É a relação imposta entre tempo de simulação e tempo real, em ambientes de Realidade Virtual, que fornece o argumento mais significativo para a escolha de métodos de previsão, ao invés de utilizar o último tempo de actualização de imagem nos cálculos inerentes à próxima imagem. Para cada imagem é necessário conhecer as características de um objecto real, que esteja a ser seguido por um sistema de localização (*Tracking*) [Pimentel 93], para que o seu correspondente virtual possa aparecer nessa imagem. O tempo de actualização de imagem pode implicar que, quando a imagem for apresentada, o objecto já tenha características muito distintas e não seja possível a sua identificação [Azuma 94][Liang 91].

5. Conclusão

Com o método de simplificação dinâmica de terrenos aqui descrito é possível a navegação em terrenos de dimensões praticamente ilimitadas, pois pode ser guardada em memória apenas a informação sobre o detalhe observável, a qual depende apenas do tipo de perspectiva utilizada e da resolução do modelo. As matrizes de altimetria para as parcelas de terreno e as texturas a aplicar sobre estas podem estar armazenadas em disco. Visto as parcelas serem pequenas, o acesso a estas não se revelou prejudicial à actualização de imagem.

Nesta comunicação, tal como em [Funkhouser 93] Séquim e Funkhouser apresentam um algoritmo para melhorar a interactividade de um Ambiente Virtual complexo limitando os tempos de actualização da imagem através da utilização adaptativa de algoritmos diferentes para afixação da mesma, também os autores propõem que a complexidade dos modelos seja limitada adaptativamente. Além disso, salientam a necessidade de utilizar um método apropriado para manter uma coerência entre o espaço percorrido pelas personagens em cada ciclo de afixação de imagem e o tempo que este demora, apresentando um método apropriado para o efeito.

O método permite obter, em média, 7 ou 8 imagens (*frames*) por segundo na plataforma constituída pelo sistema de realidade virtual WorldToolKit 2.0 da Sense8 [WTK 93] sobre a placa gráfica Spea-Fire e um Pentium a 60 Mhz. Esperam-se melhores resultados noutros sistemas, sobretudo se for possível efectuar o processo de actualização de imagem paralelamente com a simplificação e modificação dos modelos.

Agradecimentos: Os autores agradecem aos colegas de equipa: António Eduardo Dias, Helena Canelas, João Pedro Silva, Jorge Nelson Neves, Luís Filipe Mendes, Pedro Caldeira, Pedro Gonçalves e Pedro Pedrosa.

6. Referências

- [Azuma 94] Azuma, Ronald, Bishop, Gary, *Improving Static And Dynamic Resgistration In An Optical See-Trough HMD*, in proc Siggraph 94, Orlando, California 1994.
- [Brigham 88] Brigham, E. Oran, *The Fast Fourier Transform and its Applications*, Prentice-Hall International, 1988.
- [Foley 90] Foley, James D., van Dam, Andries, Feiner, Steven K., Hughes, John F., *Computer Graphics Principles and Practice*, Addison-Wesley, 1990.
- [Friedman 92] Friedman, Martin, Starner, Thod, Pentland, Alex, *Device Synchronization Using An Optimal Linear Filter*, Association for Computing Machinery, inc, Massachusetts Institute of Tecnology, 1992.
- [Funkhouser 93] Funkhouser, Thoas A., Séquim, Carlo H., *Adaptative Display Algorithm For Frame Rates During Visulization Of Complex Virtual Environments*, University of California at Berkeley, in proc. Siggraph 93.
- [Hughes 93] Hughes, Peter, *Terrain Renderer for Mars Navigator*, Tech. Note 8 in the book *Visualization of Natural Phenomena* by Robert S. Wolff, Larry Yaeger, published by TELOS, The Electronic Library of Science, Santa Clara, California 1993.
- [Lewis 75] Lewis, Colin D., *Demand Analisys And Inventory Control*, Saxon House, Great Britain, 1975.
- [Liang 91] Liang, Jiandong, Shaw, Chris, Green, Mark, *On Temporal-Spatial Realism In The Virtual Reality Environment*, in proceedings of the 4th annual ACM Symposium on User Interface Software & Technonology, Hilton Head, SC, nov 11-13 1991.
- [Makridakis 89] Makridakis, Spiros, Wheelwright, Steve C., *Forecasting Methods For Management*, Jonh Wiley, Republic of Singapore, 1989.
- [Montgomery 76] Montgomery, Douglas C., Jonhson, Lynwood A., *Forecasting And Time Series Analisys*, Mc Graw Hill, New York, 1976.
- [Newbol 93] Newbol & Bos, *Introductory Business & Economic Forecasting*, Southwest publishing, US 1993.
- [Peitgen 92] Peitgen, Heinz-Otto, Jürgens, Harmut, Saupe, Deitmar *Chaos and Fractals - New frontiers of Science*, Spring-Verlag, New-York, 1992.



- [Peuquet 90] Peuquet, Donna J, *A conceptual framework and comparison of spatial data models*, in the book *Introductory readings in Geographical Information Systems* by Donna J. Peuquet and Duane F. Marble, Taylor & Francis, New-York, 1990.
- [Pimentel 93] Pimentel, Ken, Teixeira, Kevin, *Virtual Reality: Through the new looking glass*, Intel, Windcrest, Mc Graw Hill, US 1993.
- [Wei 93] Wei, William W. S., *Time Series Analysis*, Addison Wesley, Publishing co., California 1993.
- [WTK 93] *WorldToolkit™ PC/i860 Version 2.0 Reference Manual and Hardware Guide*, © Sense8 Corporation, 1993.

Referências aos Projectos em que está integrado o trabalho relatado na comunicação:

Coast - Um Sistema de Exploração Sensorial para Ecossistemas Costeiros, Contrato de Investigação e Desenvolvimento, Projecto nº 49/93 no Âmbito do Programa específico para o Ambiente e ao abrigo do protocolo JNICT/DGA.

Virtual Tejo - Um Sistema de Realidade Virtual para a Gestão do Estuário do Tejo, Programa Específico para o Ambiente, contrato de Investigação Científica e Tecnológica JNICT/UNINOVA, Projecto nº PEAM/C/GAG/243/93.