

Armazenamento e Recuperação de Objetos em Ambientes Virtuais Colaborativos para SIG – 3D

Ermírio de Siqueira Coutinho¹, Fábio André Machado Porto¹, Jauvane C. de Oliveira²

¹Departamento de Engenharia de Sistemas – Instituto Militar de Engenharia (IME)
22.290-270 – Rio de Janeiro, RJ – Brasil

²Coordenação de Ciência da Computação – Laboratório Nacional de Computação Científica (LNCC)
25.651-075 – Petrópolis, RJ – Brasil

{ermirio, fporto}@de9.ime.eb.br, jauvane@lncc.br

Abstract. *With the introduction of virtual reality and collaborative virtual environment as well as the low cost, high performance, graphical subsystem, 3D-GIS became a reality. This work focuses at developing storage/retrieval techniques for CVE 3D objects which would enable queries that are useful for 3D-GIS. Object-Relational Database Management Systems (OR-DBMS) is used to store 3D objects, allowing filtering of only those which are in the cone of view of a giving user, as he/she moves around. Such search uses a indexing tree for recovery of the objects, allowing queries to be performed. This work will further evaluate several indexing structures and develop an algorithm which shall reduce unwanted 3D objects retrieval.*

Resumo. *Com o desenvolvimento de Sistemas de Realidade Virtual e Ambientes Virtuais Colaborativos (AVC) e com o baixo custo atual de plataformas gráficas, tornaram-se viáveis os Sistemas de Informações Geográficas tridimensionais (SIG-3D). O objetivo deste trabalho é o desenvolvimento de técnicas de armazenamento e recuperação de objetos tridimensionais (O3D) em AVC, para que possam ser feitas consultas num ambiente de SIG-3D. Para tal, faz-se uso de um SGBD Relacional-Objeto, utilizado para armazenar os O3D, que realiza uma busca dos que estão visíveis para o observador, à medida que ele se move. A busca é feita através de uma árvore de indexação, recuperando os O3D e possibilitando consultas sobre eles. Analisar-se-á o desempenho de diferentes estruturas de indexação e o emprego de um algoritmo que reduza a recuperação de O3D desnecessários.*

Palavras-chave: Ambientes Virtuais Colaborativos, Bancos de Dados, Estruturas de Indexação, Sistemas de Informações Geográficas Tridimensionais.

1. Introdução

Durante muitos anos a representação de uma porção da superfície terrestre tem sido feita utilizando-se uma projeção em duas dimensões do terreno real, seja utilizando-se cartas topográficas em papel, ou mapas digitais bidimensionais, como os utilizados em Sistemas de Informação Geográfica (SIG), dentre outros. Com o advento dos Sistemas de Realidade Virtual (RV) e Ambientes Virtuais Colaborativos (AVC), surgiu a possibilidade de uma representação da superfície terrestre em três dimensões, durante uma simulação, tal como ela se apresenta no mundo real, tornando a navegação mais intuitiva e aproximando a visualização da região apresentada à original. Neste artigo será denominado objeto tridimensional (O3D), a representação tridimensional de edificações, porções da superfície terrestre, acidentes naturais e artificiais e todos os demais dados geográficos existentes no mundo real (em cartografia, esses dados são denominados *feições cartográficas*). Se ao sistema aqui apresentado, for adicionada a possibilidade de realização de consultas e análises sobre metadados desses O3D, obtém-se o equivalente tridimensional de um SIG, conhecido como 3D-GIS (*Tridimensional Geographical Information System*), ou em português, SIG-3D.

O estudo de sistemas de SIG-3D é de grande interesse para as Forças Armadas. A visualização tridimensional do terreno permite o treinamento de comandantes e tropas, evitando deslocamentos (diminuição do custo operacional) e simulando diversas situações impraticáveis num treinamento real. Como exemplo, pode-se citar o treinamento de tropas de paz para invasão de uma região situada em outro país, na qual não se possa efetuar um reconhecimento prévio do teatro de operações (T.O. – local onde se desenvolve a operação). As elevações do terreno, as edificações e todas as demais acidentes geográficos naturais ou artificiais, com suas texturas, cores e formas, podem ser captadas por satélites ou aeronaves de reconhecimento e processadas, gerando o ambiente virtual, no qual se poderá efetuar o treinamento das tropas. Com relação aos SIG-3D e AVC voltados para o meio civil, comparando-se com os de emprego militar, podem-se considerar semelhantes os conceitos envolvidos, restando a diferença apenas no desenvolvimento de algumas funcionalidades mais específicas, o que permite aproveitar todo o desenvolvimento já feito nessa área.

O objetivo deste trabalho é o desenvolvimento de técnicas de armazenamento e recuperação de objetos tridimensionais (O3D) em AVC, que possam ser empregadas num SIG-3D, permitindo a execução de consultas nesse ambiente. Para tal, faz-se uso de um SGBD Relacional-Objeto, utilizado para armazenar os O3D, que realiza uma busca, recuperando aqueles que são visíveis ao observador, segundo uma determinada métrica, à medida que ele se move.

Este trabalho está estruturado da seguinte maneira: no item 2 é explicado o funcionamento de um SIG-3D; no item 3 são apresentados trabalhos e iniciativas similares ao que está sendo proposto aqui e indicado em que este trabalho os complementa; no item 4 esclarece-se ainda mais qual o objetivo deste trabalho, em função do que foi apresentado nos itens 2 e 3 e como se pretende atingi-lo; no item 5 se aborda quais são os resultados esperados, qual a relevância deste trabalho e a aplicabilidade de suas contribuições.

2. Entendimento do problema

Nesse tipo de sistema, é muito grande o número de O3D a serem armazenados. Para se quantificar o volume de dados existentes, basta imaginar o número de O3D necessários na representação de uma

cidade, por exemplo (cada edificação, poste e hidrante, para citar apenas alguns exemplos, é representado por um O3D diferente). Deve-se observar que os O3D estão espacialmente distribuídos e que cada um possui metadados. Para ilustrar, no caso de uma ponte, esta possui, além de sua representação visual (forma, cor e textura), dados sobre sua localização (coordenadas e orientação) e metadados que armazenam suas características (carga dinâmica máxima aplicada, tipo de pavimento, capacidade estática de carga, ano de construção, tipo de fundação e órgão responsável pela manutenção, por exemplo).

Em resumo, observa-se que:

- é grande o volume de dados e metadados a serem armazenados;
- para agilizar o armazenamento e a recuperação dessas informações, seria interessante uma organização que levasse em conta a posição (coordenadas) de cada O3D;
- durante a visualização poderão ocorrer alterações permanentes sobre os O3D (demolição por acidentes, bombas, etc);
- como se trata de um AVC, provavelmente vários usuários (aqui chamado de observadores, representados no sistema por um O3D humanóide chamado *avatar*), para cada um será gerada uma visualização diferente e portanto os O3D poderão ser acessados por mais de um simultaneamente.

Do acima exposto, verifica-se a conveniência em se utilizar um sistema gerenciador de bancos de dados (SGBD) para armazenamento dos O3D. Além disso, será adotada, a princípio uma arquitetura cliente-servidor, onde o AVC atuará como cliente, fazendo acesso a um SGBD central ou distribuído. Da análise de artigos já publicados sobre o assunto, observa-se que a maioria dos Sistemas de Realidade Virtual não utiliza um Sistema Gerenciador de Banco de Dados (SGBD) para o armazenamento dos objetos tridimensionais (O3D), geralmente criados em VRML [VRML 03], apresentados na simulação, armazenando seus dados no Sistema de Arquivos do Sistema Operacional. A introdução de um SGBD para manipulação dos dados a serem apresentados num sistema de RV aumenta o tempo de processamento necessário para cada cena. Como uma taxa mínima de reposição de quadros deve ser mantida para que se mantenha a interatividade durante a simulação, a utilização de um SGBD obriga a pesquisa de maneiras eficientes de busca e recuperação de dados. Desta maneira, torna-se imprescindível o estudo de estruturas de indexação de dados e algoritmos para a recuperação apenas dos dados necessários à montagem da cena.

2.1. Funcionamento do sistema

Prevê-se o funcionamento do sistema (simulação), conforme descrito a seguir. A simulação se inicia com a entrada de um usuário. Para tal, o usuário define, através do AVC (aplicativo) quais serão suas coordenadas iniciais e um *avatar* é gerado no local escolhido. Tendo a posição inicial do *avatar*, define-se as coordenadas limite de uma pirâmide de visão, em função do alcance visual do mesmo. Com isso, a aplicação executa uma consulta no SGBD, passando essas coordenadas como parâmetro e solicitando a recuperação de todos os O3D visíveis existentes dentro desses limites. O SGBD faz uma busca dos O3D visíveis existentes dentro da pirâmide de visão do *avatar*, que lhe foi passada como parâmetro e os retorna ao aplicativo. Com isso, o aplicativo é capaz de gerar o ambiente que será visualizado pelo usuário, através de seu *avatar*. A colaboração, no sistema em questão, ocorrerá por ser permitido o acesso simultâneo de mais de um usuário, que desempenhará, através de seu *avatar* ou do controle de algum outro O3D (carro de combate, por exemplo), o papel de amigo ou inimigo.

2.2. A questão da oclusão

Se observa na maioria dos AVC, que há a preocupação em se recuperar apenas os O3D existentes dentro da pirâmide de visão do *avatar*. Em ambientes carregados (grande densidade de O3D por cena), pode ocorrer de entre o *avatar* e um O3D estar outro maior, de modo que o primeiro não seja visível pelo usuário. Com isso, um (ou mais) objeto(s) não visível(is) foi(ram) recuperado(s) apesar de não ser(em) utilizado(s) na composição da cena. No caso de utilização de um SGBD para armazenamento dos O3D e seus metadados, isso significa um grande desperdício de recursos, devido ao alto custo de processamento envolvido na recuperação dos dados.

2.3. Aura / Focus / Nimbus

Até aqui foi abordada a recuperação de O3D baseada na capacidade visual do observador (*avatar*). Dependendo dos interesses do usuário, pode ser interessante mostrar O3D que, apesar de estarem fora da pirâmide de visão, possam ser de interesse naquele momento (como por exemplo, mostrar o tempo todo onde se encontra o objetivo do militar ou a existência de alguma ameaça com raio de ação maior que a visão dele). Isso pode ser resolvido, utilizando-se os conceitos de *aura*, *focus* e *nimbus* [Benford, 93], definidos a seguir:

- **Aura:** é definida como sendo a região do espaço que limita a presença de um O3D, dentro da qual ele pode interagir com qualquer outro, ou seja, um O3D não pode interagir com nenhum outro que não se encontre dentro de sua *aura*;
- **Focus:** assim como o *Nimbus*, é uma área que ajuda a definir a percepção entre objetos. Define a área em que um O3D que esteja na aura de outro, será perceptível para este último;
- **Nimbus:** define a área na qual um objeto é percebido por outros objetos.

Com isso, pode-se considerar a pirâmide de visão como um caso particular de *focus*, no qual a métrica adotada é o espaço euclidiano. A fim de ilustrar, considere o exemplo de um militar andando por uma rua, numa cidade ocupada e um carro de combate inimigo escondido atrás de um muro. O militar não é capaz de vê-lo, mas o carro de combate pode localizá-lo através de um radar ou de um outro artefato e atingi-lo, matando-o. Desse exemplo observamos o seguinte: o carro de combate se encontra na *aura* do militar e vice-versa; se a métrica adotada for o espaço euclidiano, no que diz respeito à visão, o carro de combate não se encontra no *focus* do militar, mas se encontra no *nimbus* deste, uma vez que pode vê-lo. Neste último caso, a métrica adotada é o espaço euclidiano, no que diz respeito ao perigo ao qual o militar está sujeito. Observa-se através deste exemplo, que o conceito de oclusão também é influenciado pela métrica adotada.

2.4. Nível de detalhamento (Level of Details - LOD)

Este conceito se baseia no fato de haver menor necessidade de detalhamento da imagem para objetos localizados a partir de uma certa distância do observador. A utilização desta técnica permite uma redução significativa do volume de dados a ser recuperado pelo sistema.

Na maioria dos sistemas de VR são adotados três níveis de LOD [Köninger 97]:

- Nível 1: os objetos são aproximados para formas geométricas básicas (cones, paralelepípedos, cubos, etc);
- Nível 2: são representadas as formas geométricas dos objetos, sem aplicação de textura;
- Nível 3: os objetos são representados através de suas formas geométricas e sobre eles é aplicada a textura, dando um aspecto realístico ao objeto.

3. Trabalhos e Iniciativas Similares

A grande maioria dos AVC armazena seus O3D no sistema de arquivos. Alguns AVC voltados para aplicações de SIG-3D armazenam seus O3D em SGBD.

No sistema REVIEW [Shou 01] são apresentadas algumas estratégias para otimizar a recuperação dos dados necessários a um ambiente virtual de larga escala: um algoritmo de *prefetch* baseado no sentido de movimento do observador; a recuperação dos objetos existentes numa área um pouco maior que o cone de visão do observador e o carregamento para a memória apenas dos componentes novos à cena, quando ocorre deslocamento do observador, ao invés de buscar no sistema de arquivos todos os objetos que a compõe. Apesar disso, as estratégias foram testadas num ambiente virtual fictício (não baseado em dados reais), os dados são armazenados no sistema de arquivos, sem utilização, portanto, de um SGBD e não há preocupação com o tratamento de oclusão de objetos.

Em [Ligget 95] é apresentado o “UCLA Urban Simulator” um ambiente de Realidade Virtual que representa as ruas do bairro de Pico Union, em Los Angeles e de Playa Vista. Trata-se de um sistema dual, que utiliza um pacote de SIG, o ESRI ArcView 2 para gerenciar os dados bidimensionais e um aplicativo que gera o ambiente virtual. Os objetos nos dois sistemas são relacionados utilizando-se um dicionário de dados que liga cada O3D (ambiente virtual) a uma feição cartográfica (SIG). O armazenamento das feições no SIG ArcView segue um modelo proprietário, assim como os O3D gerados pelo programa de modelagem tridimensional MultiGen. Não é explicitado nenhum tratamento quanto à oclusão.

O sistema DIVE (*Distributed Interactive Virtual Environment*) apresentado em [Frécon 98], implementa um SGBD proprietário hierárquico distribuído, desenvolvido em ANSI C, especificamente para essa aplicação e que é responsável pela consistência dos dados, manipulados em diferentes pontos dentro de uma rede heterogênea. O SGBD implementado possui características muito peculiares: a arquitetura se enfoca em soluções de rede e *software* para permitir alta interação entre nós de diferentes características, permitindo a utilização de conexões e computadores de baixo desempenho, sem prejudicar o realismo em outras máquinas participantes de maior capacidade de processamento. Sua principal característica é um método de replicação ativa do banco de dados: as modificações, adições de entidades e suas remoções são feitas no ambiente virtual local e depois são informadas a todos os pontos de conexão através de um sistema de mensagens, utilizando-se um protocolo de *multicast*. Ao receber a mensagem com as modificações, cada ponto atualiza sua base de dados local. Dessa maneira é criada uma situação de pseudo-consistência dos dados, que segundo seus autores é suficiente para a aplicação em questão. O sistema DIVE importa e exporta O3D descritos em VRML e utiliza OpenGL, IrisGL ou SunXGL para renderizá-los.

Os sistemas ViRGIS (*Virtual Reality and Geoinformation System*) [Pajarola 98], Cidade Virtual de Viena [Kofler 96] e o SIG-3D desenvolvido pela Universidade Nacional de Tecnologia de Defesa da China [Li 01] consistem de clientes de Realidade Virtual que acessam via rede (local, metropolitana ou

global) um servidor que executa um SGBD Orientado-a-Objetos (SGBD-OO) contendo os dados geográficos. Os dados geográficos são acessados segundo uma estrutura de árvore-R modificada, sendo-lhe acrescenta mais uma dimensão utilizada para a recuperação de dados através do nível de detalhamento (*Level-of-Detail* – LOD) adequado. Assim como os demais, nenhum desses sistemas considera o problema da oclusão de O3D.

4. Metodologia Utilizada e Estado Atual da Pesquisa

Em face do que foi exposto, observa-se que um SIG-3D para aplicações militares pode ser estruturado num modelo de três camadas: aplicativo de visualização, camada de controle (comunicação entre o aplicativo e o SGBD) e SGBD. Com isso, é importante frisar-se que o objeto de estudo nesta dissertação, se encontra na última camada, SGBD, onde serão desenvolvidas as técnicas de armazenamento e recuperação de O3D para um AVC, com funcionalidades de SIG-3D. Dentre as técnicas a serem aplicadas, estão:

- utilização da árvore-R modificada para indexar O3D por LOD, além de suas coordenadas;
- tratamento da oclusão, ao nível do SGBD, a fim de evitar desperdício de recursos na recuperação de O3D desnecessários à montagem da cena;
- e emprego de um algoritmo de *prefetch*, a fim de viabilizar a manutenção de continuidade da simulação.

Definidos os objetivos do trabalho, foi feita a escolha do SGBD a ser utilizado. Optou-se pelo SGBD Relacional-Objeto Postgres-SQL pelos seguintes motivos:

- é um *software* aberto, permitindo a modificação mais fácil em suas estruturas de indexação e o conhecimento de todo o seu código, o que é fundamental para aplicações militares;
- possui funções e tipos de dados que facilitam a manipulação de dados espaciais;
- é um *software* livre, o que não implica em custos para aquisição de licenças, reduzindo o custo de implantação do sistema;
- por ser Relacional-Objeto, encontra-se um maior número de profissionais capacitados a fazer sua manutenção.

Como, no decorrer desta dissertação, não será desenvolvida a camada do aplicativo de visualização, criar-se-á um *benchmark* que avaliará o desempenho do SGBD, simulando-a. Nessa simulação, o *benchmark* simulará o deslocamento do *avatar*, solicitando a recuperação dos O3D visíveis a partir de sua posição e verificando se o SGBD é capaz de recuperar todos os O3D visíveis num intervalo de tempo suficiente para que o aplicativo de visualização consiga garantir a interatividade no sistema.

Nesta primeira fase da dissertação, teve-se como objetivo: aumentar o conhecimento sobre o tema, através da leitura de artigos sobre SIG-3D já existentes e suas limitações, técnicas para redução da quantidade de dados a serem apresentados, padrões utilizados em SIG / SIG-3D e estruturas de índices para dados espaciais (árvores); estudar as linguagens necessárias para o desenvolvimento do trabalho: VRML, GeoVRML e Java; estudar o funcionamento e a programação do SGBD PostgresSQL; desenvolver uma estratégia de armazenamento de O3D em VRML num SGBD-RO (Postgres-SQL).

Após esses estudos, que serão ainda aprofundados, se necessário, passou-se para o desenvolvimento de um programa de *benchmark* (fase atual).

5. Resultados Esperados, Relevância e Aplicabilidade das Contribuições

Com este trabalho, procura-se definir quais são as estruturas necessárias para viabilizar a utilização de um SIG-3D num AVC.

A relevância deste trabalho está em definir como um SGBD deve ser estruturado para viabilizar o sistema em questão, uma vez que os poucos sistemas de Realidade Virtual ou AVC que fazem uso de SGBD, utilizam soluções proprietárias ou um pacote de SIG entre o aplicativo e um SGBD, sendo que a maioria armazena seus O3D no sistema de arquivos do sistema operacional.

É desejável que o resultado deste trabalho crie as condições necessárias para o desenvolvimento futuro de um protótipo capaz de executar as seguintes tarefas/consultas:

- 1 – Recuperar os arquivos VRML armazenados no SGBD, permitindo que o AVC faça a conversão dos O3D para Java3D orientando-os, renderizando-os e locando-os corretamente;
- 2 – Armazenar, se assim for desejável, o estado atual dos O3D. Exemplos: prédios destruídos por bombas/armas; estado de O3D móveis ou imóveis localizados sobre o terreno;
- 3 – Efetuar-se consultas sobre os metadados de um O3D (função básica num SIG);
- 4 – Permitir que mais de um usuário possa fazer consultas no sistema simultaneamente e que possam interagir (função básica de um AVC);
- 5 – Efetuar as consultas básicas para a criação do ambiente virtual:

- Quais são os objetos visíveis a partir de um observador localizado nas coordenadas (x,y,z)?
- Quais são os objetos visíveis a partir de um observador localizado nas coordenadas (x,y,z), levando-se em conta as qualidades visuais do observador (utilização de binóculos, por exemplo)?
- Realização de uma pré-busca (pre-fetch) em função do sentido esperado para o movimento do observador, a fim de aumentar o desempenho do sistema.

6. Agradecimentos

Os autores agradecem à CAPES (PRODOC e PROAP), ao programa PCI/LNCC pelo apoio financeiro à pesquisa realizada e ao Exército Brasileiro, através da Secretaria de Ciência e Tecnologia (SCT) e da Diretoria Geral de Pessoal (DGP) que autorizaram a realização do mestrado em regime de tempo integral pelo oficial co-autor deste trabalho.

7. Referências

- [Benford, 93] Benford, S. and Fahlén, L., *A Spatial Model of Interaction for Large Virtual Environments*, In Proc. ECSCW'93 - Third European Conference on Computer Supported Cooperative Work, Milano, September, 1993, Kluwer Academic Publishers.
- [DSG 87] Diretoria de Serviço Geográfico do Exército Brasileiro, *Carta Topográfica – Folha SF.23-Z-A-VI-4 – Santa Cruz*, 1987
- [Frécon 98] Frécon, E., Stenius, M., "DIVE: A Scaleable network architecture for distributed virtual environments", *Distributed Systems Engineering Journal* (special issue on Distributed Virtual Environments), Vol. 5, No. 3, Sept. 1998, pp. 91-100.
- [Kofler 96] Kofler M., Rehatschek H., Gruber M.: "A Database for a 3D GIS for Urban Environments Supporting Photo-Realistic Visualization." In *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing (ISPRS)*, Vol. XXXI, Vienna 1996.
- [Köninger 97] Köninger, A., Bartel, S., "3D-GIS for Urban Planning – Object Hierarchy, Methods and Interactivity. Proceedings of JEC-GI' 97 Conference, Vienna, Apr, 1997
- [Liggett 95] Liggett, R., Friedman, S., and Jepson, W., "Interactive Design/Decision Making in a Virtual Urban World: Visual Simulation and GIS," Proceedings of the Fifteenth Annual ESRI User Conference. Palm Springs, CA, May, 1995.
- [Li 01] Li, J., Jing, N., Sun, M., "Spatial Database Techniques Oriented to Visualization in 3D GIS", Proceedings of the Second International Symposium on Digital Earth, Fredericton, New Brunswick, Canada, Jun, 2001.
- [Pajarola 98] Pajarola, R., Ohler, T., Stucki, P., Szabo, K., Widmayer, P. "The Alps at your Fingertips: Virtual Reality and Geoinformation Systems". Proceedings of 14th IEEE International Conference on Data Engineering, pp. 550-557, 1998.
- [Shou 01] Shou, L., Chionh, J., Huang, Z., Ruan, Y., Tan, K.: "Walking Through a Very Large Virtual Environment in Real-time". *VLDB 2001*: 401-410
- [VRML 03] www.VRML.org, Última visita em Março 2003.