

## Desenvolvimento de um ambiente para Realidade Virtual e Aumentada

Mário Cruz, Paulo Moreira, Paulo Dias, Joaquim Madeira, Beatriz Sousa Santos

**Resumo** - Nesta comunicação são descritos os esforços desenvolvidos para a criação de um ambiente de custo reduzido que permite a investigação e o desenvolvimento de aplicações em Realidade Virtual e Aumentada. A utilização de um *Head-Mounted Display* e de sensores de orientação e de aceleração, conjugados com *toolkits* gráficos de domínio público, permitiram o desenvolvimento da arquitectura de um primeiro protótipo e a rápida implementação de ambientes virtuais, bem como o teste de diferentes métodos de navegação. A posterior adição de uma câmara de vídeo passou a permitir, também, a criação de ambientes aumentados do tipo *video see-through* e com algum grau de interacção.

### I. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de ambientes de Realidade Virtual ou Realidade Aumentada requer a utilização de equipamento especializado como *Head-Mounted Displays* e sensores de orientação e posicionamento. A disponibilidade deste tipo de equipamentos a um preço não proibitivo veio diminuir a fadiga de entrada para a investigação e o desenvolvimento de aplicações nestas áreas. Conjugando este factor com a existência de poderosas bibliotecas de processamento gráfico, livremente disponíveis, que permitem diminuir o esforço de desenvolvimento e criar protótipos rapidamente, torna-se possível conceber uma plataforma eficiente e de custo reduzido para investigação e desenvolvimento nos domínios da Realidade Virtual e Aumentada.

Nesta comunicação é descrito o trabalho realizado no âmbito de um projecto de 5º ano cujos objectivos passavam por, numa primeira fase, criar um protótipo de uma aplicação genérica para exploração de modelos tridimensionais em Realidade Virtual, e, numa segunda fase, desenvolver um protótipo de um ambiente de Realidade Aumentada do tipo *video see-through*.

O trabalho realizado conduziu assim ao desenvolvimento de um sistema que permite quer a concepção rápida de cenários de utilização de ambientes de Realidade Virtual ou Aumentada, quer o teste de técnicas de navegação e interacção nesses cenários.

### II. REALIDADE VIRTUAL

A concepção de aplicações para Realidade Virtual apresenta numerosos desafios [1]. O objectivo de proporcionar ao utilizador uma experiência sensorial

imersiva num ambiente artificial depende em grande parte dos componentes de hardware utilizados, pois é por seu intermédio que se influenciam os sentidos, e se consegue interagir com o ambiente e os objectos nele definidos. Para criar uma sensação de imersão e presença são habitualmente usados dispositivos de visualização como os *Head-Mounted Displays* (HMD), dispositivos de interacção e diversos tipos de sensores, de orientação e posicionais [2]. Não menos importante é a componente do *software*. Este tem que conseguir gerar em tempo quase real uma representação de um ambiente verosímil aos sentidos do utilizador. Esta verosimilhança implica não tanto representações foto-realistas de ambiente reais (a não ser que seja esse o objectivo do sistema), mas sim um comportamento que reflecta a experiência a que utilizador se encontra habituado no mundo real, em que o ambiente se altera de acordo com os seus gestos e movimentos.

#### A. Equipamento

O conjunto inicial de equipamento disponível para a execução do projecto era constituído por um HMD *i-glasses SVGA Pro* da *i-O Display Systems* [3] capaz de uma resolução de 800x600 *pixels* e visão estereoscópica, e um sensor de orientação *Intertrax 2* da *Intersense* [4] com três graus de liberdade (*yaw*, *pitch* e *roll*). A ligação destes periféricos ao computador realiza-se por intermédio de uma interface VGA convencional no caso do HMD, e pela porta USB no caso do sensor de orientação. Para simplificar o acesso aos dados do sensor, foi utilizada a API disponibilizada pelas bibliotecas fornecidas pelo fabricante.

Foi mais tarde adicionado ao projecto um sensor de aceleração capaz de determinar acelerações estática e dinâmica em três eixos ortogonais, numa amplitude de valores que pode variar entre 2G e 6G. Este equipamento foi desenvolvido por alunos do Departamento de Electrónica e Telecomunicações da Universidade de Aveiro [5], recorrendo a um sensor LIS3L02AQ da *STMicroelectronics* [6] e a um micro controlador



Fig. 1 - HMD com sensor de orientação e micro-câmara

PIC18F458 da *Microchip* [7]. A comunicação com o computador é feita utilizando uma ligação convencional à porta série (RS232). Os valores são obtidos num esquema de *polling*, em que a aplicação envia um comando ao equipamento, e este responde com valores ou mensagens de estado. Tanto os comandos como as respostas são constituídos por cadeias de caracteres ASCII. Os pedidos de dados podem ser feitos a uma frequência máxima de 200Hz.

### B. Plataforma de desenvolvimento

Para o desenvolvimento do protótipo do ambiente de Realidade Virtual foi concebida uma arquitectura modular baseada no modelo de programação orientado a objectos, permitindo assim gerir de uma melhor forma a complexidade do sistema, oriunda essencialmente da necessidade de obter e sincronizar dados de diversas fontes. A linguagem escolhida para a implementação foi o C++. O ambiente de desenvolvimento utilizado foi o *Visual Studio .NET 2003* em ambiente *Windows XP*.

Para o processamento e representação de modelos tridimensionais foi adoptado o *Visualization Toolkit* [8], uma biblioteca gráfica orientada para aplicações de visualização científica. O VTK fornece um conjunto extenso de ferramentas e de algoritmos para manipulação de conjuntos de dados e visualização entre os quais: *volume rendering*, redução poligonal, detecção de contornos, entre muitos outros. Desenvolvido em C++, funciona sobre *OpenGL*, e embora não tenha as capacidades avançadas de outras plataformas, as suas interfaces de alto nível simplificam o desenvolvimento. O VTK fornece ainda diferentes funcionalidades para a importação de modelos e interacção com dispositivos.

### C. Ambientes

O formato de dados escolhido para representar as cenas virtuais foi o VRML 97 [9]. Ao escolher um formato padrão como suporte para os dados tridimensionais pretende-se simplificar a criação de novos ambientes, aumentando a flexibilidade da plataforma. Torna-se também possível utilizar todo um conjunto de modelos já disponíveis neste formato. Embora a capacidade de interpretar ficheiros VRML 97 exista na biblioteca VTK, esta não implementa grande parte da especificação, deixando de fora capacidades tão importantes como a leitura das texturas dos modelos e alguma geometria. Assim, foi implementada de raiz uma nova biblioteca que, embora ainda não inclua suporte para todas as capacidades do VRML 97, colmata as falhas mais evidentes do importador fornecido pelo VTK.

### D. Navegação

A navegação nos ambientes de Realidade Virtual é a forma mais elementar de interacção, e uma componente fundamental para a sensação de presença e imersão. No

âmbito do sistema desenvolvido, a navegação foi considerada como sendo definida por informação de orientação e de posicionamento, fornecida por dispositivos distintos. Para a orientação o dispositivo de entrada é o sensor de orientação (*tracker*) colocado sobre o HMD. Para o posicionamento, dado não haver detecção posicional do utilizador no espaço, foi utilizado o sensor de aceleração como dispositivo auxiliar para a deslocação nos ambientes virtuais.

Foi ainda implementado um módulo que permite a definição de movimento automatizado e animado nas cenas. Este módulo lê e interpreta comandos de movimentação especificados em ficheiros de texto, permitindo deslocar o utilizador através de percursos virtuais pré-definidos, mantendo a liberdade de orientação.

#### 1. Orientação

A orientação é obtida por intermédio do *tracker*, que detecta os movimentos da cabeça do utilizador, devolvendo valores no sistema de eixos tipicamente usado para descrição da orientação, constituído por três graus de liberdade, designados por *yaw*, *pitch* e *roll*. Os valores devolvidos são então aplicados à orientação de uma câmara virtual no ambiente a ser explorado. Desta forma é possível fazer a correlação entre os movimentos da cabeça do utilizador e a representação da cena, permitindo que este consiga olhar à sua volta e ver as imagens correspondentes a serem reproduzidas no HMD.

#### 2. Posicionamento

Ao contrário da orientação, que resulta de um movimento natural e intuitivo da cabeça do utilizador, a alteração da posição obriga a um mapeamento entre acções arbitrárias efectuadas sobre um dispositivo e a movimentação num espaço tridimensional. No caso em estudo este dispositivo era o sensor de aceleração, e o objectivo era encontrar uma combinação de acções que resultassem em deslocamentos no espaço virtual, e cuja utilização fosse simultaneamente inequívoca e intuitiva, de forma a reduzir a curva de aprendizagem. Factores ergonómicos como o cansaço ou possíveis lesões resultante do seu uso foram, tanto quanto possível, tidos em linha de conta. Foram testados diversos conjuntos de acções, até se ter estabelecido um padrão para as acções elementares de andar em frente, para trás e para os lados, mapeadas em pequenos movimentos do antebraço na direcção correspondente, sendo a velocidade do deslocamento



Fig. 2 - Sensor de aceleração



Fig. 3 - Vista interior do modelo da Biblioteca da UA

proporcional à amplitude do gesto.

É também necessário relacionar os dados da orientação com o sentido do deslocamento. Foram testados e implementados quatro modos de navegação. No modo mais simples, o utilizador desloca-se apenas sobre o plano horizontal, em direcções paralelas aos eixos coordenados que o definem, independentemente da orientação do HMD. Outro modo permite que o utilizador se desloque na direcção da orientação do HMD, i.e., segundo a direcção de projecção. Obviamente, os movimentos para trás e laterais são relativos a esta direcção. Um modo semelhante, mas em que a componente que define a altura da direcção de projecção não é considerada foi também implementado. O último modo agrega os dois anteriores e suporta independência entre a orientação e o deslocamento, quando o utilizador se encontra em movimento. Assim, a direcção do movimento é definida pela orientação que o utilizador tem quando se encontra imóvel, sendo a componente vertical considerada apenas se for superior a um mínimo arbitrariamente estabelecido, de forma a evitar pequenas oscilações verticais durante o movimento. Quando em movimento, o utilizador poderá olhar à sua volta sem que a direcção inicial deste seja alterada.

#### E. Resultados

Conjugando os equipamentos, *software* e técnicas descritos foi implementado um protótipo de uma aplicação de navegação em ambientes virtuais. O protótipo permite experimentar diferentes cenários virtuais, bastando fornecer-lhe os modelos em VRML. A sua arquitectura modular permite a implementação de métodos alternativos

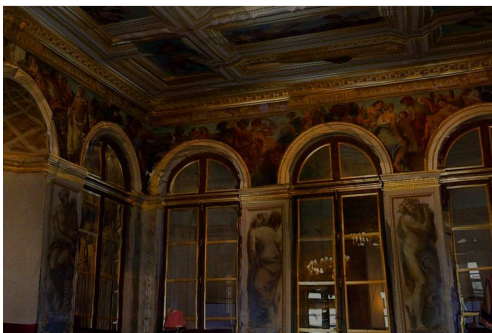


Fig. 4 - Vista interior do modelo da Sala Delacroix

de interacção e navegação sem necessidade de alterar todo o sistema, e potencia a expansão das suas características no tocante ao sistema físico e às capacidades multimédia.

Nas figuras 3 e 4 é possível observar imagens da aplicação a ser utilizada em diferentes cenários: um modelo do interior da Biblioteca da Universidade de Aveiro [10], e um modelo da *Sala Delacroix*, no *Palais Bourbon*, obtido a partir de dados laser [11], todos representados no formato VRML.

### III. REALIDADE AUMENTADA

Partindo dos dispositivos de base e do protótipo de ambiente de Realidade Virtual já descritos, foi possível desenvolver um protótipo de uma aplicação de Realidade Aumentada adicionando uma câmara de vídeo ao sistema. A utilização de um HMD convencional com uma câmara acoplada prefigura um sistema de Realidade Aumentada do tipo *video see-through*.

#### A. Equipamento

A câmara utilizada é uma micro-câmara sem fios analógica, com um sensor CMOS de aproximadamente 330 linhas, a funcionar na banda dos 1.2GHz, cujo receptor se encontra ligado a um conversor vídeo analógico-digital com saída USB 2.0. Este conversor permite utilizar qualquer câmara analógica como uma comum *webcam* USB, aumentando a flexibilidade da plataforma. As dimensões e consumo da câmara permitem que seja montada directamente no HMD, numa posição ao nível dos olhos do utilizador, e alimentada por uma pilha comum de 9 volt.

#### B. Plataforma de desenvolvimento

Para o desenvolvimento do protótipo de Realidade Aumentada foi utilizado o *ARToolkit* [12], uma biblioteca gráfica que incorpora capacidades de detecção da orientação da câmara e de *rendering* de objectos virtuais directamente na imagem capturada, posicionados de acordo com a orientação detectada. A orientação da câmara é calculada não relativamente ao espaço circundante, mas a marcadores pré-definidos colocados nesse espaço. Os marcadores são quadrados delineados a traço grosso negro, com um símbolo no seu interior.

A detecção dos marcadores começa pela conversão da imagem capturada num registo a preto e branco, por forma a maximizar o contraste entre o traço negro e o fundo.

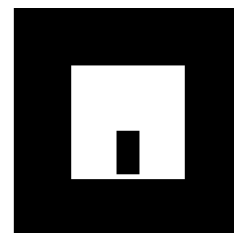


Fig. 5 - Exemplo de marcador

branco. Este tipo de processamento permite fazer sobressair os marcadores em ambientes complexos e coloridos. A alteração do limiar utilizado para a conversão das cores da imagem em preto ou branco permite ainda adaptar o processo de detecção às características de iluminação e contraste das imagens obtidas pela câmara.

A deformação devida à perspectiva, a rotação do quadrado e a posição do símbolo no seu interior permitem calcular a orientação da câmara relativamente ao marcador. Atendendo a que a dimensão deste é conhecida, a determinação da distância também é possível.

Na posse destes dados, orientação e distância do observador relativamente aos marcadores, é possível desenhar objectos virtuais na cena, alinhados com estes. O *rendering* dos objectos virtuais sobre a imagem é feito utilizando as bibliotecas *OpenGL* [13] e *GLUT* [14].

### C. Ambientes

Por definição, o ambiente em aplicações de Realidade Aumentada é o ambiente real que circunda o utilizador, o que no caso corresponde às imagens capturadas pela câmara. Os dados aumentados, sobrepostos no ambiente real são tipicamente objectos tridimensionais, mas podem no entanto ser apenas texto ou uma imagem num plano. O *toolkit* utilizado incorpora extensões que permitem ler objectos especificados em ficheiros VRML 97, tornando-o assim bastante flexível relativamente ao tipo de conteúdos que podem ser adicionados a uma cena e permitindo incluir elementos com textura e animação.

### D. Interação

Os marcadores, utilizados no ambiente aumentado para determinar a posição do utilizador relativamente ao ambiente que o rodeia, podem também ser usados como instrumentos de interação. O facto de ser possível segurar e manipular um marcador, dadas as suas características reais e tangíveis, junto com a possibilidade de determinar a posição da câmara no espaço, relativamente ao marcador, permite a interação directa do utilizador com objectos tridimensionais virtuais, de forma orgânica e intuitiva. Esta interação é especialmente útil na análise exterior de objectos, por forma a determinar pormenores da forma e volume dos mesmos, sendo uma ferramenta interessante em ambientes de criação de protótipos de objectos ou criação de maquetas à escala.

Como dispositivos adicionais de interação, e dado o protótipo de Realidade Aumentada ser construído sobre o equipamento do ambiente de Realidade Virtual, é possível utilizar os sensores de aceleração e orientação, além dos tradicionais rato e teclado. Na implementação realizada, apenas o sensor de aceleração é utilizado, com o fim de assinalar a entrada e saída do modo de Realidade Virtual, e para navegação neste.

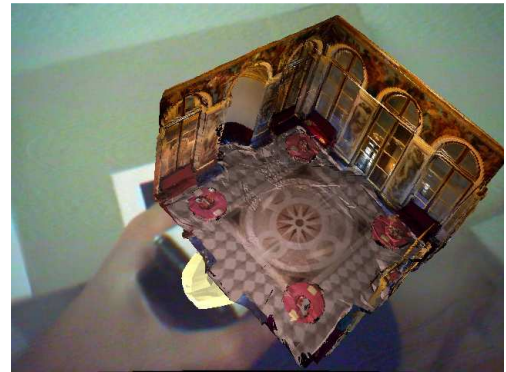


Fig. 6 - Exemplo de ambiente aumentado

### E. Resultados

Foi desenvolvido um protótipo baseado no conceito de um ambiente aumentado que contém um conjunto de itens virtuais, passíveis de serem seleccionados e manipulados pelo utilizador, que pode entrar num ambiente puramente virtual e navegar numa versão imersiva do item a ser observado. A componente de Realidade Virtual da aplicação é a já descrita, pelo que a implementação se limitou ao desenvolvimento da componente de Realidade Aumentada e da sua interface com a componente de Realidade Virtual.

Como prova de conceito, foi criado um ambiente de teste, cujos elementos aumentados são modelos reduzidos de alguns dos ambientes virtuais disponíveis. A selecção é efectuada utilizando um avatar, associado ao marcador que o utilizador segura na mão, acoplado ao sensor de aceleração para maior comodidade. Um exemplo de selecção e manipulação de um dos modelos é observável na figura 6. O utilizador pode imergir no ambiente virtual associado ao objecto seleccionado, alterando a posição do sensor de aceleração, rodando-o de 180°.

Uma característica que torna o protótipo extremamente flexível é o facto de o ambiente aumentado ser totalmente descrito por ficheiros de texto. É possível definir quais os modelos a exibir, o marcador e modelo virtual a que estão associados, entre outras características, sem ter de alterar o código da aplicação. Como demonstração da versatilidade do sistema de configuração, foi criado outro cenário de utilização do sistema, inspirado no conceito base do

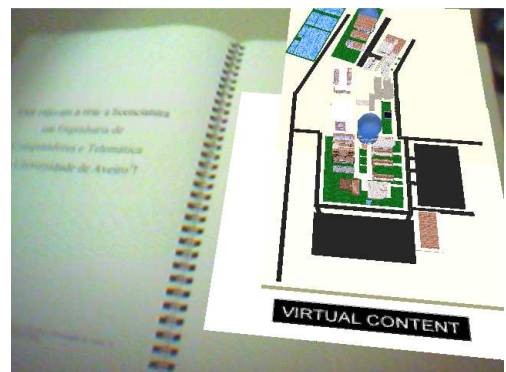


Fig. 7 - Exemplo do livro mágico



projecto *Magic Book* [15]. Neste cenário, o utilizador, ao olhar para as páginas de um livro real com o equipamento de Realidade Aumentada, pode ver elementos virtuais associados ao conteúdo do texto. Pode então fazer a transição para o modo de Realidade Virtual, e navegar nos ambientes associados aos elementos virtuais apresentados sobre as páginas. Um exemplo de uma página com um modelo virtual sobreposto pode ser observado na figura 7.

Os testes com a aplicação desenvolvida permitiram provar a validade do conceito, mas também fizeram emergir alguns problemas no ambiente de Realidade Aumentada. O mais pertinente prende-se com falhas na detecção dos marcadores, associadas às condições de luz e contraste do ambiente em que se está a operar.

O ambiente deve ter muita luminosidade, uniformemente distribuída, por forma a proporcionar a melhor taxa de detecção. Deficiências a este nível podem levar ainda a detecções pouco fiáveis, em que objectos existentes no campo visual do utilizador são confundidos com marcadores, gerando aparições esporádicas de modelos em locais e posições inesperados. A iluminação dos modelos virtuais utilizados no ambiente de Realidade Aumentada também deve ser considerada. Estes são, por omissão, iluminados apenas de um dos lados, fazendo com que o utilizador, ao manipular o marcador para visualizar o modelo de múltiplos ângulos, se depara com áreas totalmente escuras. Convém assim que os modelos incluam diversas fontes de luz, que possibilitem uma iluminação, se não uniforme, pelo menos suficiente em todos os modelos.

#### IV. CONCLUSÃO

Foi criado um ambiente de desenvolvimento que permite quer a concepção rápida de cenários de utilização de ambientes de Realidade Virtual ou de Realidade Aumentada, quer o teste de novas técnicas de navegação e interacção neste tipo de cenários. No entanto, o trabalho efectuado constitui apenas o início da exploração das potencialidades das tecnologias da Realidade Virtual e Aumentada, devendo ser encarado como trabalho em e para desenvolvimento.

A utilização do sensor de aceleração permitiu alargar o trabalho ao estudo e implementação de métodos de interacção e navegação alternativos. Ficando assim demonstrada a possibilidade de construir uma plataforma leve, flexível e de custo reduzido para investigação na área, é agora possível evoluir sobre a mesma, acrescentando novas características no domínio da interacção e da imersividade, explorando áreas como a detecção posicional do utilizador, imersão sonora, e ambientes verdadeiramente aumentados.

#### AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Bernardo Cunha, Paulo Martins e Rui Gomes, pela disponibilização do sensor de aceleração e apoio na sua utilização.

Ao Tiago Vieira e João Santos, pela concepção e desenvolvimento do modelo em VRML 97 da Biblioteca da Universidade de Aveiro, utilizado para teste e demonstração neste trabalho.

#### REFERÊNCIAS

- [1] Andries van Dam, Andrew S. Forsberg, David H. Laidlaw, Joseph J. LaViola, Jr., and Rosemary M. Simpson, Immersive VR for Scientific Visualization: A Progress Report, IEEE Computer Graphics and Applications, V. 20, No. 6, pp. 26-52, Nov/Dec. 2000
- [2] José Miguel Salles Dias, Rafael Bastos, Pedro Santos, Luis Monteiro, Joaquim Canhoto, The Arena: An Indoor Mixed Reality Space, Actas de Interação 2004 - 1ª Conferência Nacional em Interação Pessoa Máquina, pp. 109-119, Lisboa, 12-14 Julho 2004
- [3] i-O Display Systems LLC, <http://www.i-glassesstore.com/>
- [4] InterSense, <http://www.isense.com>
- [5] Paulo Martins, Rui Gomes, «Actígrafo», Electrónica e Sistemas Médicos, Mini-Projecto 2004/2005, Departamento Electrónica e Telecomunicações, Universidade de Aveiro, 2005
- [6] STMicroelectronics, <http://www.st.com>
- [7] Microchip Technology Inc., <http://www.microchip.com>
- [8] The Visualization Toolkit, <http://public.kitware.com/vtk/>
- [9] VRML97 Specification, ISO/IEC 14772-1:1997, The VRML Consortium Inc., 1997, <http://www.web3d.org/x3d/specifications/vrml/vrml97/index.htm>
- [10] Tiago Vieira, João Santos, «Modelo VRML 2.0 da Biblioteca da Universidade de Aveiro», Mini-Projecto 2003/2004 Interfaces Humano-Computador, 2º semestre, 3º ano, Lic. Engenharia de Computadores e Telemática, Departamento Electrónica e Telecomunicações, Universidade de Aveiro, 2004
- [11] Paulo Dias, Three Dimensional Reconstruction Of Real World Scenes Using Laser and Intensity Data, Tese de Doutoramento, Universidade de Aveiro, 26 Setembro 2003
- [12] ARToolkit, <http://www.hitl.washington.edu/ARToolkit/>
- [13] OpenGL, <http://www.OpenGL.org/>
- [14] GLUT – The OpenGL Utility Toolkit, <http://www.OpenGL.org/resources/libraries/glut.html>
- [15] Magic Book description, <http://www.hitl.washington.edu/magicbook/description.html>