

# SUPORTE PARA AUTORIA COLABORATIVA COM REALIDADE AUMENTADA

## **Autores**

---

Lucas de Araujo Oliveira  
Nivaldi Calonego Junior

## **Orientador**

---

Nivaldi Calonego Junior

## **1. Introdução**

---

A realidade virtual é uma poderosa interface homem-máquina onde se representa o real mais o imaginário, e que possui como principais características a navegação, interação e a imersão nesse mundo virtual. É um ambiente sintético, gerado por computador, em que a interação homem-máquina é mediada por dispositivos multisensoriais e apresentam respostas que devem ser em tempo real.

Diferentemente da realidade virtual, a realidade aumentada é caracterizada pela inserção de elementos virtuais no espaço real. Essa modalidade de interface homem-máquina potencializa aplicações em que a complementação das informações do real se fazem necessárias.

Sistemas de realidade virtual ou de realidade aumentada podem variar de uma pessoa usando apenas um computador ou até muitos usuários, usando um sistema distribuído. Sistemas distribuídos de realidade virtual permitem que usuários geograficamente distantes possam atuar em mundos virtuais que estão compartilhados através de rede de computadores. O objetivo dos sistemas distribuídos de realidade virtual é resolver problemas de maneira colaborativa. Pessoas colaborando na consecução de tarefas podem fazer com que melhore o desempenho coletivo.

O rastreamento óptico é fundamental no contexto das aplicações em realidade aumentada, dado que há a necessidade de captura das imagens reais às quais são inseridos os elementos virtuais. A ARTToolkit é uma biblioteca de código aberto, escrita em C++, que efetua o rastreamento de marcadores inseridos no mundo real. Atualmente, a biblioteca tem como principais funcionalidades: (i) a identificação dos marcadores; (ii) definição um sistema referencial cartesiano por marcador, que é dado em relação à posição de câmera; (iii) identificação de pose, que define a localização geográfica da marca em relação ao marcador. Portanto, o sistema de rastreamento óptico implementado nessa biblioteca está associado a uma câmera conectada a um computador.

O espaço real pode ser observado de diferentes pontos de vistas, ou em partes. Cada parte é um recorte a ser compartilhado por um conjunto de usuários. A visão de cada uma dessas partes define uma localização e a sua reconstrução constitui o espaço total.

## **2. Objetivos**

---

A proposta que se apresenta tem por objetivo a extensão dessa biblioteca, de maneira tal que o espaço real seja observado em partes, conforme ilustra a figura 1(a). Cada parte pode ser vista como um recorte a ser compartilhado por um conjunto de usuários. À visão de cada uma dessas partes está a localização geográfica das entidades reais que se encontram em algum outro lugar. A reconstrução das partes constitui

o espaço da realidade aumentada em que todos os usuários colaboram. Nesse caso, técnicas de sistemas distribuídos serão experimentadas no desenvolvimento do ambiente colaborativo.

### 3. Desenvolvimento

---

O compartilhamento ocorre em um determinado espaço físico, ou seja, existe a concorrência pela ocupação do espaço num dado momento. O espaço consiste em uma mesa, onde, ao redor desta mesa, são dispostos  $n$  usuários. Cada usuário está conectado a um computador e possui um *Head Mounted Display* (HMD, Azevedo, 2003). Os computadores estão conectados entre si por intermédio de uma rede. Neste caso, cada um dos usuários pode manipular o mesmo conjunto de marcas. Assim, cada usuário tem a sua própria visão da cena em construção e é identificado por “Usr<sub>*i*</sub>”, onde  $i$  é um número natural.

A colaboração se dá pela inserção, remoção ou alteração de cada uma das cenas associadas às marcas. Ao término do projeto é suficiente gerar o código VRML, fazendo-se o percurso no grafo de cena a partir do ponto de vista de um dos usuários. Portanto, considera-se que esses sejam os requisitos do ambiente colaborativo. Mas, espera-se que o espaço físico não seja restrito a um determinado local, isto é, espera-se que os usuários possam estar fisicamente distantes, considerando-se a capacidade de captura do HMD, e ainda assim, colaborarem na implementação de uma cena, conforme ilustra a figura 1(b). Nesta situação, há marcas que não estão visíveis ou disponíveis para todos os usuários.

Supondo que haja um conjunto de  $n$  marcadores por *cluster* e que existam  $m$  *clusters*, há um conjunto de  $nx$   $m$  marcadores constituindo o espaço virtual colaborativo. Neste caso, há dois problemas a serem tratados: (i) gerenciamento dos diversos pontos de vista dos usuários; (ii) gerenciamento do conjunto de marcas.

A biblioteca ARToolkit permite a determinação do ponto de vista da câmera a partir de marcas fiduciais inseridas no espaço real. Dentre todos os marcadores possíveis define-se que o marcador com o texto “REF” deve ser usado como referencial inercial para o cálculo de posicionamento das cenas.

O marcador “REF” permite que o espaço virtual seja composto a partir das partes, aplicando-se transformações homogêneas, caracterizando um espaço virtual único. O resultado do espaço a partir da sobreposição virtual das marcas, está ilustrado na figura 1(b).

A constituição do espaço global deve considerar que cada usuário tem o seu referencial e que recebe dos demais usuários as informações de seus respectivos referenciais, exigindo que sejam efetuadas as respectivas transformações de coordenadas para cada usuário. Por exemplo, para compor a visão global do usuário “Usr<sub>1</sub>” do *cluster* “Cl<sub>2</sub>” é necessário que ele receba atualização das informações de cada *clusters* “Cl<sub>1</sub>” e “Cl<sub>3</sub>”. Assim, devem ser atualizados os atributos gráficos, a posição da marca de referência e posição de cada marcador no respectivo referencial, além de informação de visibilidade, inserção ou remoção de objetos novos não cadastrados na cena.

Considerando que  $T_{ij}$  seja a matriz de transformação do sistema de coordenadas  $i$  para o sistema de coordenadas  $j$ , essa matriz é atualizada a partir do cálculo de referencial das marcas de referência recebida. Portanto,  $T_{21}$  é a matriz de transformação do sistema de coordenadas do *cluster* “Cl<sub>1</sub>” para o sistema de coordenadas “Cl<sub>2</sub>”. Essa matriz de transformação é que determina visão que o usuário “Usr<sub>1</sub>” tem dos objetos manipulados pelos usuários que trabalham no *cluster* “Cl<sub>1</sub>”.

Uma transformação  $T: R^3 \rightarrow R^3$  define que para cada vetor  $\mathbf{v} = (x, y, z)$  em  $R^3$ , há um único vetor  $T(\mathbf{v})$  na imagem  $R^3$ . Segundo Poole (2004), “Uma transformação  $T: R^n \rightarrow R^m$  é chamada de transformação linear se: (i)  $T(\mathbf{u} + \mathbf{v}) = T(\mathbf{u}) + T(\mathbf{v})$  para todo  $\mathbf{u}$  e  $\mathbf{v}$  em  $R^n$ ; (ii)  $T(c\mathbf{v}) = cT(\mathbf{v})$  para todo  $\mathbf{v}$  em  $R^n$  e todos os escalares  $c$ ”. Como consequência tem-se o teorema: “Considere  $A$  como uma matriz  $m \times n$ . Então a transformação por

meio da matriz  $A$ ,  $T_A : \mathbf{R}^n \rightarrow \mathbf{R}^m$ , definida por:  $T_A(\mathbf{x}) = \mathbf{x}A$  (para  $\mathbf{x}$  em  $\mathbf{R}^n$ ) é uma transformação linear.”. Segundo Azevedo(2003), translações 3D são operações lineares definidas sobre pontos no espaço, causadas pela adição ou subtração de valores de translação às suas coordenadas. Assim, por exemplo, o ponto P definido por pode ser transladado para a posição P', por fatores , tal que  $x' = x + Tx$ ;  $y' = y + Ty$ ;  $z' = z + Tz$ . Os valores  $T_x$ ,  $T_y$  e  $T_z$  são valores de translação e definem o vetor  $PP'$ . Na notação da álgebra matricial tem-se a matriz apresentada na figura eqc1(a).

Assim, translação de um objeto formado por P pontos no espaço 3D é definida em função do vetor de deslocamento  $T$ , aplicado a todos os seus pontos, resultando em um objeto formado por pontos transformados  $P'$ , ou seja, para transladar um objeto, alteramos todos os seus pontos pelo mesmo vetor  $T$ .

A rotação de um ponto no espaço 3D pode ser obtida pela multiplicação dos ângulos de rotação em torno dos eixos ao ponto.

No espaço tridimensional, têm-se três possíveis matrizes de rotação, uma para cada eixo.

Uma rotação sob o eixo z, possui a seguinte matriz, apresentada na figura eqc1(b).

Uma rotação sob o eixo x, possui a seguinte matriz, apresentada na figura eqc1(c).

Uma rotação sob o eixo y, possui a seguinte matriz, apresentada na figura eqc1(d).

Como exemplo de uso destas matrizes, pode-se elaborar o seguinte problema: Girar 10° em torno de x, 20° em torno de y e 30° em torno de z. A matriz final será o resultado das três matrizes de rotação multiplicadas, como se apresenta na figura eqc1(e).

A aplicação dessa teoria matemática ao problema descrito anteriormente, permite a determinação das coordenadas relativas entre as marcas a partir de um referencial inercial. Esse problema foi resolvido por Kato (1999), que implementou a biblioteca de rastreamento de marcadores. Como resultado do rastreamento de marcas obtém-se a posição de cada marcador em relação ao ponto de vista da câmera.

Neste caso, como o marcador “REF”, ilustrado na Figura 1b, fornece a visão da câmera de cada usuário, tem-se um referencial para cada subespaço, permitindo que se elaborem as respectivas transformações de coordenadas. Assim, é possível a obtenção da coordenada de cada um dos marcadores em relação ao referencial “REF”. Isto é necessário e suficiente quando marcadores podem ter suas respectivas imagens capturadas a partir de uma única câmera, ou seja, estão suficientemente próximos. Quando os marcadores não atendem a esse requisito, é necessário que sejam analisados pontos de vista geometricamente distantes. Para isso, a organização lógica da obtenção das referências locais não deve ser alterada, mas há a necessidade de troca de informação entre os subsistemas de visualização, objetivando a construção da visão ilustrada na figura 1b. Essa visão pode ser obtida se considerar-se que o conjunto de marcadores seja único e que cada subsistema é responsável pela atualização dos dados referentes a um subconjunto desse conjunto de marcadores.

O gerenciamento de marcador tem de ser estendido de maneira a permitir a identificação única dos elementos da cena. Localmente, os marcadores são cadastrados e registrados em um arquivo de configuração. Esse arquivo é lido quando a aplicação é iniciada. Como o cadastro é local, há a necessidade de um gerenciador para as marcas remotas. Cada marca possui um identificador local único. Assim, quando um usuário deseja iniciar suas atividades, sua aplicação local trata de repassar para os demais usuários da rede sua identificação, composta de  $IP:id$ ; onde  $IP$  é o endereço Internet e  $id$  é o identificador local das suas marcas.

Cada usuário mantém uma tabela de índice para efetuar a conversão da identificação do usuário remoto e o seu respectivo mapeamento no sistema de registro local, conforme ilustra a figura 2.

No exemplo da figura 2, o marcador de índice 17 forneça a chave de acesso à cena “e”, mas o índice 17 deve ser obtido a partir do número IP “192.10.1.1” que possui identificador local “0”. Analogamente, o conjunto completo de identificadores pode ser construído usando-se uma tabela hash.

#### **4. Resultados**

---

O mapeamento físico do mundo real para o virtual pode ser efetuado com a inserção de marcadores, criando um referencial para a inserção de objetos virtuais no mundo real. A questão é definir um referencial para dividir o espaço em espaço virtuais, que não necessariamente são contíguos. A solução que se pretende experimentar é aplicação de técnicas de realidade aumentada, usando a biblioteca ARToolkit. O rastreamento dos marcadores será feita por esta biblioteca, e como explicado neste artigo, haverá uma marca referencial, sendo a partir dela que será construído o espaço global para a partir de então efetuar as respectivas transformações de coordenadas para cada usuário. A partir destas transformações, cada usuário terá seus respectivos pontos e vista de cada usuário, permitindo assim uma visão virtual de todo o ambiente.

#### **5. Considerações Finais**

---

A biblioteca ARToolkit mostra-se flexível e com bom potencial para o desenvolvimento de aplicações de realidade aumentada em ambiente de rede. O uso de marcadores para a interação com as cenas também mostrou ser eficiente, porém os marcadores devem estar associados a funcionalidades específicas. Por fim, está sendo elaborada uma proposta de desenvolvimento de um protótipo com essas características, o qual servirá como tema de dissertação para a obtenção do título de mestre em ciência da computação, nesta universidade.

#### **Referências Bibliográficas**

---

KATO, H. 1999 Marker Tracking and HMD Calibration for a Video-based Augmented Reality Conferencing System. Proceedings of the 2nd IEEE and ACM International Workshop on Augmented Reality, pp. 85-94, Outubro 20-21, San Francisco, 1999.

AZEVEDO, E.; CONCI, A. “Computação Gráfica – Teoria e Prática”. Editora Campus, Rio de Janeiro, 2003.

CARDOSO, A.; LAMOUNIER JÚNIOR, E. “Realidade Virtual: uma abordagem prática”. Editora Mania de Livro, 1ª. edição, São Paulo, 2004.

POOLE, D. “Álgebra Linear”. Editora Thomson, 2004.

#### **Anexos**

---

$$T = \begin{bmatrix} x & y & z & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ Tx & Ty & Tz & 1 \end{bmatrix}$$

eqcl(a)

$$Rz = \begin{bmatrix} x & y & z \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos(\alpha) & \text{sen}(\alpha) & 0 \\ -\text{sen}(\alpha) & \cos(\alpha) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

eqcl(b)

$$Rx = \begin{bmatrix} x & y & z \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\beta) & \text{sen}(\beta) \\ 0 & -\text{sen}(\beta) & \cos(\beta) \end{bmatrix}$$

eqcl(c)

$$Ry = \begin{bmatrix} x & y & z \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos(\delta) & 0 & -\text{sen}(\delta) \\ 0 & 1 & 0 \\ \text{sen}(\delta) & 0 & \cos(\delta) \end{bmatrix}$$

eqcl(d)

$$Rzyx = \begin{bmatrix} x & y & z \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(10) & \text{sen}(10) \\ 0 & -\text{sen}(10) & \cos(10) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos(20) & 0 & -\text{sen}(20) \\ 0 & 1 & 0 \\ \text{sen}(20) & 0 & \cos(20) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos(30) & \text{sen}(30) & 0 \\ -\text{sen}(30) & \cos(30) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

eqcl(e)

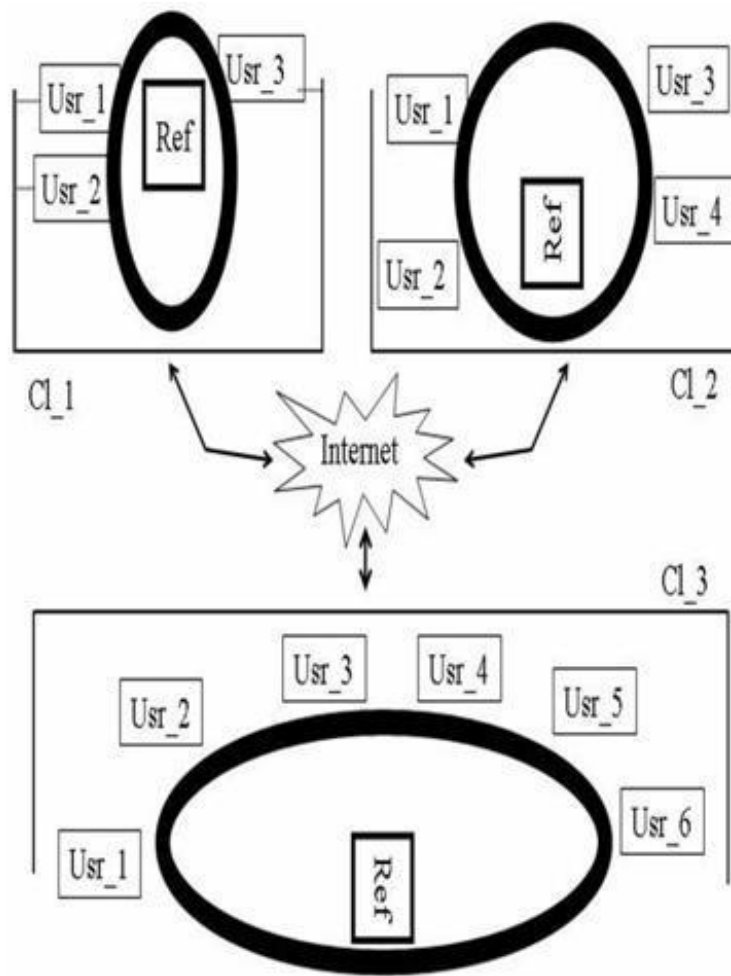


Figura 1(a) - Visão das partes

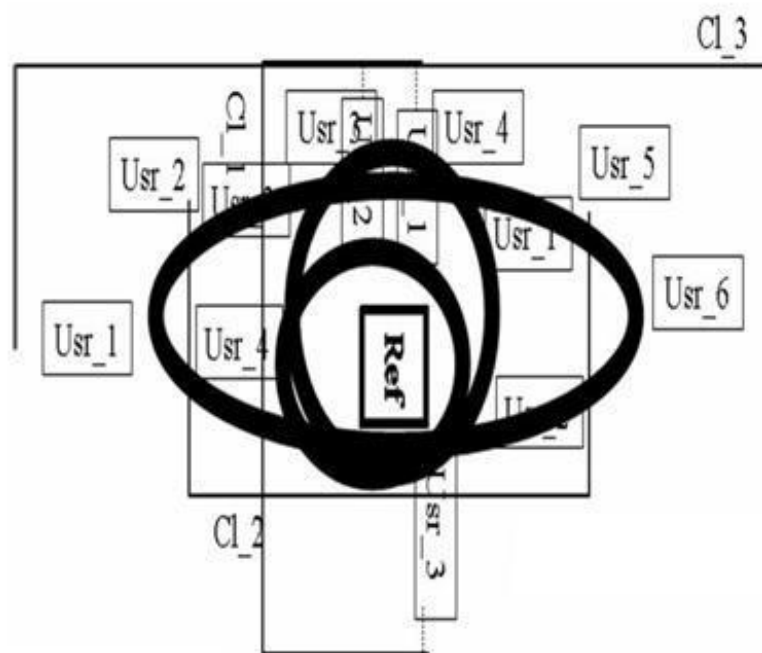


Figura 1(b)- Sobreposição virtual das marcas

	Id de cena				
0	a	Identificadores locais			
1	b				
...					
15	c				
16	d	Identificadores remotos	Novo id	IP	Id Local
16	d		16	10.1.192.1	0
17	e		17	192.10.1.1	0
18	f		18	10.1.192.1	1
19	g		19	192.10.1.1	1
20	h		20	10.1.192.1	2
21	i		21	165.10.1.1	0
22	j		22	165.10.1.1	1
23	k		23	165.10.1.1	2
24	l		24	10.1.192.1	3
25	m	25	10.1.192.1	4	

Figura 2 - Tabela de Índices