

TARCAST: Uma Taxonomia para Sistemas de Realidade Aumentada

José Braz Pereira
Dep. Sistemas e Informática, EST Setúbal / IPS
Setúbal
jbraz@est.ips.pt

João Madeiras Pereira
Dep. Engª Informática, IST / UTL
Lisboa
jap@inesc.pt

Resumo

O presente trabalho discute as definições de Realidade Aumentada (RA) mais comuns assim como a arquitectura de um sistema de RA típico e conclui pela necessidade de a expandir através de componentes que permitam uma interacção háptica com o ambiente aumentado. Em seguida propõe-se uma taxonomia para caracterização e classificação de sistemas de RA que permite compará-los em termos de tecnologias e metodologias utilizadas. A taxonomia proposta baseia-se no princípio de que qualquer sistema de RA é potencialmente composto por seis subsistemas e selecciona os critérios de caracterização para cada um deles de acordo com taxonomias existentes. Finaliza-se descrevendo a ferramenta de suporte à utilização da taxonomia através da web, ferramenta esta que permite caracterizar um sistema de RA através de uma interface baseada em menus e consultar a informação assim disponibilizada.

Palavras Chave

Realidade Aumentada, Realidades Misturadas, Taxonomia, Caracterização.

1 INTRODUÇÃO

1.1 Motivação

Com o objectivo de propor um ambiente de Realidade Aumentada (RA), para visualização dos dados biomecânicos recolhidos pelo Laboratório de Biomecânica da FMH, ambiente esse já implementado e descrito em [Braz, 2005] efectuou-se um estudo dos sistemas de RA até então desenvolvidos.

Ao tentar sistematizar esse estudo, tornou-se evidente a inexistência de uma taxonomia apropriada para a comparação dos diferentes sistemas se pretendessemos ter como critérios comparativos as tecnologias e metodologias envolvidas. Tal verificou-se ser essencial para tomar decisões quanto ao sistema a implementar, sentimento este também realçado em [Dubois et Al., 1999a] onde se propõe um Espaço Classificativo para Cirurgia Aumentada.

1.2 Objectivos

De acordo com [Milgram et Al., 1994], o objectivo de uma taxonomia é oferecer uma classificação de acordo com a qual possam ter lugar discussões de ordem não só teórica mas também prática, avaliados os desenvolvimentos de uma determinada área, conduzir e orientar a investigação para as sub-áreas pertinentes e comparar informação de forma útil.

Mas, acrescentaríamos que, principalmente, ela tem de ser usada. Para tal parece-nos que essa taxonomia deve:

1. à semelhança das mais conhecidas taxonomias, como sejam a Tabela Periódica dos Elementos ou a Taxonomia Numérica para classificação das espécies, permitir classificar os sistemas de acordo com critérios “objectivos” e, a partir da classificação obtida, inferir características qualitativas,
2. ser suficientemente simples para ser entendida por todos os intervenientes de forma intuitiva, baseada em critérios de classificação já aceites, citados e usados, por forma a permitir enquadrar as descrições dos sistemas desenvolvidos da forma mais directa possível nos critérios caracterizadores da taxonomia,
3. considerando o carácter multidisciplinar da RA, reflectir e incorporar o conhecimento dos especialistas das diferentes áreas abordadas pela RA,
4. preferencialmente ser suportada por uma ferramenta que facilite a caracterização dos diferentes sistemas.

Mais do que classificar os sistemas existentes de acordo com uma nova taxonomia, o TARCAST pretende ajudar a comunidade de investigação e desenvolvimento a extrair a informação relevante sobre sistemas de RA já existentes.

2 DEFINIÇÃO E TERMINOLOGIA

Em [Milgram et Al., 1994] é proposta uma Taxonomia para Sistemas de Apresentação de Realidades Misturadas que introduz o conceito de “Continuum de Virtualidade” (Figura 1), ao longo do qual se distribuem diferentes tipos de Sistemas de Realidades Misturadas.

Considerando a RA como um caso particular no

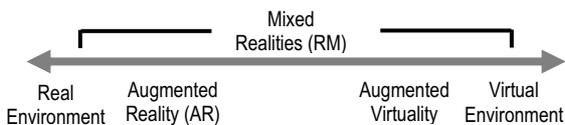


Figura 1: O “Continuum de Virtualidade” de Milgram.

universo das Realidades Misturadas, Milgram insere-a no lado esquerdo desse continuum, mais perto do ambiente real do que dos mundos virtuais. Este enquadramento permite-lhe justificar a clara separação entre as áreas da RA e da Realidade Virtual, e, em simultâneo, abrir campo para o conceito genérico de Realidades Misturadas que ocupa assim todo o espaço entre o Ambiente Real e o Ambiente Virtual.

2.1 Definição

Aceitando explicitamente o enquadramento da RA proposto em [Milgram et Al., 1994], Ronald Azuma, em [Azuma, 1997] e [Azuma et Al., 2001], acaba por definir a RA como «uma variante da Realidade Virtual [...]. As tecnologias de Realidade Virtual imergem completamente o utilizador num ambiente sintético e, enquanto imerso nesse ambiente, o utilizador não pode ver o mundo real que o rodeia. Pelo contrário, a RA permite ver o mundo real com objectos virtuais sobrepostos ou integrados nesse mundo real. Desta forma, a RA complementa a realidade em lugar de a substituir.[...]».

Evitando a conotação da RA com qualquer tipo de tecnologia, Ronald Azuma aponta três características fundamentais e distintivas para um sistema de RA, nomeadamente:

1. Combina o real e o virtual.
2. É interactivo em tempo real.
3. As imagens reais e virtuais são alinhadas espacialmente e sincronizadas temporalmente num espaço tridimensional (*registered*).

Note-se que esta definição, se bem que genericamente aceite, não é absolutamente consensual. Refira-se, a este propósito, que [Dubois et Al., 1999a] defende que a variedade de domínios aplicativos torna difícil chegar a uma definição consensual de RA e que diferentes pessoas, com diferentes objectivos, usam o termo RA aplicando-o a diferentes sistemas com diferentes características, nem todos englobados na definição de Azuma.

De notar ainda que, devido à «adequabilidade do termo, [...] é comum empregar o termo RA para caracterizar qualquer tipo de apresentação em que um mundo, de outra forma real, é aumentado com informação virtual. Integram-se nesta classe os sistemas em que os objectos virtuais são sobrepostos a imagens de vídeo do mundo real, captadas por uma câmara estática ou não e apresentadas num écran bidimensional. Autores mais preocupados em respeitar a semântica vulgarmente

aceite, optam por denominar esta última classe de sistemas como sistemas de “Realidade Melhorada” (*enhanced reality*)» [Milgram et Al., 1994].

Pela nossa parte, relevando a preocupação em analisar os mais variados tipos de sistemas, preferimos considerar a definição restritiva de Azuma como uma “utopia” a perseguir e englobar nos sistemas de RA qualquer forma de sobreposição de imagens virtuais a imagens reais seguindo a interpretação mais alargada de, entre outros, [Milgram et Al., 1994] «Como definição operacional de RA, tomamos o termo como referência a qualquer caso em que um ambiente, de outra forma real, é “aumentado” através de objectos virtuais (gerados por computador) [...]».

2.2 Terminologia

Ao definir a semântica de vários termos vulgarmente usados em RA, Paul Milgram, numa abordagem dicotómica, propõem três tipos de distinções:

1. Objectos Reais (OR) versus Objectos Virtuais (OV).
2. Visualização Indirecta (VI) e Visualização Directa (VD) (a *Unmediated Reality* de [Naimark, 1991].)
3. Imagens Reais e Imagens Virtuais

Neste âmbito define:

1. Os OR como sendo objectos que possuem uma existência objectiva, por oposição aos OV, os quais existem em essência ou efeito, mas não de facto. Desta forma, os objectos reais tanto podem ser observados directamente, como re-sintetizados num dispositivo de apresentação a partir de uma amostragem do objecto real, enquanto os objectos virtuais, só podem ser visualizados a partir de uma simulação/modelo e sintetizados num dispositivo de apresentação.
2. A VD como tendo lugar através do vidro ou ar e que se aplica apenas a objectos reais, por oposição à VI que recorre obrigatoriamente a um dispositivo de amostragem e a um dispositivo de apresentação.

Também a terminologia proposta por Milgram nos parece passível de alguma re-elaboração, nomeadamente no que concerne às dicotomias entre OR e OV e entre VD e VI.

Ao distinguir Objectos Reais de Objectos Virtuais, nota-se que Milgram tenta fugir à conotação dos objectos reais com o mundo físico, atómico se quisermos, optando antes pelo conceito de objectividade. Quanto a nós, esta segunda abordagem acaba por introduzir tanta, ou mais, “indeterminação” quanto uma definição baseada na dicotomia átomo/bit. Desta forma, e tanto mais que outros autores, como [Dubois et Al., 1999a] preferem também esta abordagem, propomos uma distinção entre objectos reais e virtuais, em tudo semelhante, mas baseada em diferentes critérios:

Propomos assim que se considerem os Objectos Reais como sendo aqueles que possuem uma estrutura atómica¹, por oposição aos Objectos Virtuais, que existem apenas sob a forma de informação² armazenada num qualquer sistema.

Seguindo este critério distintivo, quanto a nós mais “objectivo”, mantém-se o fundamental do conceito definido por Paul Milgram e explicitado no segundo parágrafo do ponto 1.

Também no que respeita à distinção entre VD e VI, o recurso a conceitos físicos fundamentais permite-nos obter uma definição semanticamente equivalente, mas, quanto a nós, mais fortemente sedimentada. Podemos desta forma definir a Visualização Directa, como sendo produto da luz proveniente directamente do objecto real, por oposição à Visualização Indirecta que requer dispositivos de amostragem e de apresentação.

2.3 Um Sistema Típico de RA

Considerando, por um lado, a relevância do conceito de “Extensão da metáfora de presença” usado por Paul Milgram, como um dos critérios de classificação para sistemas de apresentação de realidade misturada e, por outro lado, que a tecnologia usada para apresentar a fusão dos universos, o real e o virtual, é determinante para a qualidade da imersão proporcionada por um sistema de RA, não é de estranhar que os sistemas de RA tenham vindo a ser classificados de acordo com o sistema de apresentação usado.

Vallino na sua “*Introduction to Augmented Reality*” [Vallino, 2001], distingue três tipos de sistemas de acordo com o dispositivo de apresentação usado:

1. Os baseados num monitor (Window on the World ou Fish Tank),
2. os baseados num HMD a que é acoplada uma câmara de vídeo (Video See Through)
3. e os baseados em HMD de lentes semireflexivas (Optical See Through)

A estes três tipos de sistemas de RA, podemos já acrescentar um quarto:

4. Os sistemas que recorrem a projectores para apresentar os objectos virtuais directamente no mundo real, como os sistematizados em [Billinghurst et Al., 1999], essencialmente vocacionados para sistemas colaborativos como as “*Augmented Surfaces*” [Rekimoto et Al., 1999]. (Projectivos)

É ainda em [Vallino, 2001] que encontramos a representação de um sistema típico de RA onde se podem distinguir claramente cinco subsistemas:

1. Sistema de captação de imagem (SCI).

2. Sistema de seguimento da localização e orientação do SCI (SSSCI).
3. Sistema Gráfico para geração dos objectos virtuais (SG).
4. Sistema Misturador de Imagem (SMI).
5. Sistema de Apresentação (SA).

No entanto, se pretendermos alargar a noção de interactividade para além da mera navegação no mundo aumentado e considerar a existência de objectos reais em movimento na cena aumentada, o que acontece em vários dos sistemas de RA analisados, parece-nos relevante acrescentar outros três subsistemas, nomeadamente:

1. Sistema Real de Manipulação de Objectos. Que tanto poderá manipular objectos reais como virtuais.
2. Sistema de seguimento do SRMO.
3. Sistema de seguimento de objectos reais que se movimentem no ambiente aumentado.

Acrescentando o primeiro ao sistema típico de Vallino e incorporando os dois últimos num sistema de seguimentos global, um sistema típico de RA passará a apresentar uma composição do tipo da apresentada na Figura 2.

3 TARCAST: TAXONOMIA PROPOSTA

Uma possível abordagem para a definição de uma taxonomia dos sistemas de RA, basear-se-á assim, na criação de um quadro em que os seis subsistemas identificados possam ser caracterizados de acordo com taxonomias pertinentes.

Abordam-se em seguida vários aspectos da taxonomia proposta, nomeadamente os princípios em que se baseia, a sintaxe proposta e os valores semânticos de cada característica identificada.

3.1 Princípios:

1. Apesar de a “ponta visível do iceberg” consistir nos diferentes elementos classificados de acordo com a taxonomia, a parte relevante de uma taxonomia consiste nas características identificadas que permitem fazer a distinção entre sistemas e portanto conduzem à sua classificação. Por outras palavras, o fundamental são os critérios que dão lugar à classificação.
2. Qualquer sistema de RA é potencialmente composto pelos seis subsistemas identificados na Figura 2.
3. Nos casos em que os seis subsistemas não sejam fisicamente independentes, é sempre possível separá-los conceptualmente, identificá-los e caracterizá-los.
4. Mais do que em classificar, o TARCAST preocupa-se em extrair de cada subsistema os parâmetros necessários a uma caracterização o mais objectiva possível das potencialidades e limitações de cada tecnologia ou metodologia usadas.

¹ Ou baseada em qualquer outro tipo de micropartículas.

² Aqui entendemos informação no estrito sentido de uma entidade expressa em bit's ou em qualquer outra unidade de informação análoga.

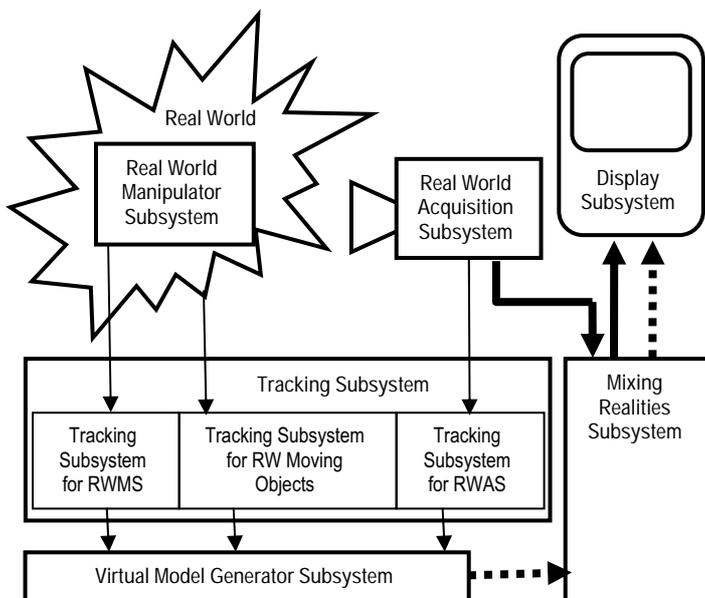


Figura 2: Arquitectura de um Sistema de RA Típico

5. Sempre que exista uma taxonomia geralmente aceite e aplicável, no sentido de oferecer critérios classificativos tecnológicos ou metodológicos, recorre a essa taxonomia para classificar os subsistemas.

3.2 Caracterização de um Sistema de RA

Como se pode ver pela sintaxe apresentada na Figura 3, os sistemas de RA são caracterizados de acordo com os seis subsistemas identificados na Figura 2 e por um grupo de características globais que se apresentam em seguida.

```
<DEF AR System> ::=
  <DEF Global Characteristics> ^p
  <DEF Real World Acquisition Subsystem> ^p
  <DEF Virtual Model Generator Subsystem> ^p
  <DEF Mixing Realities Subsystem> ^p
  <DEF Display Subsystem> ^p
  <DEF Real Manipulator Subsystem> ^p
  <DEF Tracking Subsystem> ^p
```

Figura 3: Caracterização Global de um Sistema de RA.

3.3 Características Globais de um Sistema de RA

As características não associáveis a um dos subsistemas são consideradas características globais do Sistema de RA e a sua sintaxe apresentada na Figura 4.

As seis características globais identificadas são:

1. Chave: número inteiro que identifica univocamente cada sistema de RA.
2. Título: nome dado ao Sistema de RA pelos seus autores, na sua ausência deve recorrer-se a um nome usado numa referência bibliográfica.
3. Áreas aplicacionais: áreas em que o sistema de RA encontra aplicação ou para as quais foi projectado.

4. Tipo de Sistema: Se é uma metodologia, uma tecnologia ou uma aplicação baseada ou não numa das plataformas de desenvolvimento de Sistemas de RA existentes.
5. Número de utilizadores simultâneos: quantidade de utilizadores que pode interagir com o sistema em cada momento.
6. Interação entre utilizadores: é ou não possível a interação entre utilizadores.

```
<DEF Global Characteristics> ::=
  <key> - <title> - <year> ^p
  <application fields> ; ^p
  <system type> ; ^p
  <number of simultaneous users> ; ^p
  <interaction between users> ; ^p
  <global link> ; ^p
  <global description> ; ^p
  <global references> . ^p

<key> ::= Id: <Integer>
<title> ::= Title: <plain text>
<year> ::= 19 <digit> <digit> | 20 <digit> <digit>
<digit> ::= 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9
<application fields> ::= Application Fields: <af keyword> , <af keyword>
<af keyword> ::= <plain text>
<system type> ::= System Type: <st keyword>
<st keyword> ::= Methodology> | Technology> | Application
<number of simultaneous users> ::=
  Number of Simultaneous Users: <quantity>
<quantity> ::= 1 | 2 | Several
<interaction between users> ::=
  Interaction Between Users:
  <type of interaction between users>;
<type of interaction between users> ::= None | Collaborative
<global link> ::= Global Link: (<URL>)
<global description> ::= Global Description: (<plain Text>)
<global references> ::= Global References: (<plain Text>).
```

Figura 4: Características Globais de um Sistema de RA

3.4 Sistema de Captação do Mundo Real

O Sistema de Captação do Mundo Real pode ser caracterizado em termos dos sub-sistemas que permitem excitar os respectivos sentidos do ser humano com sinais provenientes do mundo real, tal como se apresenta na Figura 5. Por ser de especial relevância para o estudo então realizado, desenvolveu-se com maior detalhe a caracterização do subsistema de captação de Imagem que se apresenta em seguida.

Sistema de Captação de Imagem

Apesar de aplicável na sua generalidade à classificação de sistemas de captação de imagem, a taxonomia proposta em [Naimark, 1991] salienta a correlação entre as tecnologias de captação e de apresentação de imagem.

Na taxonomia proposta preferimos separar claramente os sistemas de captação dos sistemas de apresentação e deixar que, caso isso se verifique, a correlação entre

eles transpareça aquando da caracterização dos diferentes sistemas implementados ou da classificação das tecnologias usadas.

```
<DEF Real World Acquisition Subsystem> ::=
  <DEF Image Acquisition Subsystem> ^p
  <DEF Sound Acquisition Subsystem> ^p
  <DEF Smell Acquisition Subsystem> ^p
  <DEF Other Acquisition Subsystem> ^p
<DEF Sound Acquisition Subsystem> ::= Sound Acquisition Subsystem: <yn>
<DEF Smell Acquisition Subsystem> ::= Smell Acquisition Subsystem: <yn>
<DEF Other Acquisition Subsystem> ::= Other Acquisition Subsystem: <yn>
<yn> ::= Yes | No
```

Figura 5: Caracterização de um Sistema de Captação do Mundo Real

Para a classificação dos Sistemas de Captação de Imagem foram identificadas as seguintes cinco características relevantes:

1. Tipo de Captação: O conceito de Tipo de Captação coincide completamente com a definição de Visão Directa e Indirecta proposta em [Milgram et Al., 1994] e acima descrita.
2. Dinâmica: O SCI é considerado estático nos casos em que não se pode mover, o que implica que a interação com o ambiente de RA se dá a outro nível que não o visual a fim de manter a coerência com a definição de [Azuma, 1997]. O SCI é considerado móvel em todos os restantes casos.
3. Dimensões da Imagem Recolhida: O conceito de Dimensões da Imagem Recolhida abarca as imagens monoscópicas, estereoscópicas e multiescópicas tal como definidas em [Naimark, 1991].
4. Calibração: Uma característica fundamental para a escolha do SCI a usar num sistema de RA é a sua dependência da necessidade de calibração prévia ou não. Neste sentido foram já desenvolvidas metodologias de utilização de SCI que não requerem a sua prévia calibração [Kutulakos et Al., 1998] [Seo et Al., 2000]. A grande maioria dos sistemas de RA documentados recorre a marcas de referência (Marcas Fiduciais), que vão permitir calcular a matriz de calibração da câmara, com recurso a métodos de Visão Computacional. Outro interessante caso documentado recorre a feixes de laser para calibrar a câmara [Nakajima et Al., 1998] [Braz, 2000]. Distinguem-se os sistemas que não necessitam de calibração, os que recorrem a marcas fiduciais e, numa terceira categoria, os que recorrem a sistemas activos de calibração, como sejam, por exemplo, feixes laser ou sistemas de ultrasons.
5. Tecnologia: O conceito de Tecnologia do SCI coincide com o tipo de dispositivo usado para captar a imagem do mundo real. Listam-se os diferentes dispositivos documentados na literatura [Azuma, 1997], [Milgram, 1994], [Braz, 2000], mas nada impede que <Outros> dispositivos sejam entretanto identificados e acrescentados à lista.

```
<DEF Image Acquisition Subsystem> ::=
  Image Acquisition Subsystem <IA system> ^p
<IA system> ::= <IA subsystem> | <IA subsystem> <IA system>
<IA subsystem> ::=
  <key> - <title> - <year> ; ^p
  <way of view> ;
  <dynamics> ;
  <captured image dimensions> ;
  <calibration> ;
  <technology> ; ^p
  <link> ; ^p
  <description> ; ^p
  <references> ; ^p
<way of view> ::= Direct Vision | Indirect Vision
<dynamics> ::= Static | Mobil
<captured image dimensions> ::=
  Monoscopic Image |
  Stereoscopic Image |
  Multiscopic Image
<calibration> ::= Not Required | Fiducial Marks | Laser
<technology> ::=
  Human Eye | Video Camera | Microscope |
  Telescope | Magnetic Resonance
<link> ::= Link: <URL>
<description> ::= Description: ( <plain text> )
<references> ::= References: ( <plain text> )
```

Figura 6: Caracterização de um Sistema de Captação de Imagem

3.5 Sistema Gerador de Modelos Virtuais

Sendo tradicionalmente aceite para a classificação de ambientes virtuais, a taxonomia proposta em [Zeltzer, 1992] serviu como base para a classificação dos objectos virtuais presentes num ambiente de RA. Apresentam-se em seguida os parâmetros caracterizadores que poderão vir a permitir, através de, por exemplo, um simples método de ponderação de coeficientes, classificar os ambientes virtuais presentes em sistemas de RA com a citada taxonomia. Note-se, no entanto, que alguns outros aspectos relevantes para a caracterização dos modelos virtuais usados em sistemas de RA não se enquadram, pelo menos explicitamente, na classificação de Zeltzer, como seja o conhecimento sobre o mundo real.

A caracterização do Sistema Gerador de Modelos Virtuais é feita de acordo com os sentidos que permite excitar. A relevância dada à caracterização da componente gráfica justifica-se pelo âmbito do presente trabalho, mas nada impede a expansão dos restantes componentes.

Modelo Gráfico

A classificação do modelo gráfico faz-se de acordo com as seguintes seis características:

1. Grau de Realismo Gráfico: O modelo virtual pode ir do mais simples plano, usado em sistemas de etiquetagem do mundo real, até representações baseadas em imagens reais. Foram identificados sistemas com representações: 2D, | Fio de Arame a Cinzento, | Fio de Arame a Cor, | 3D Cinzento, | 3D Colorido, | Realístico, | Real,

```

<DEF Virtual Model Generator Subsystem>::=
  Virtual Model Generator Subsystem: ^p
  <VMG system> ^p

<VMG system> ::= <VMG subsystem> |<VMG subsystem> <VMG system>

<VMG subsystem> ::=
  <key> - <title> - <year> ; ^p
  <graphic model> ; ^p
  <other models> ; ^p
  <link> ; ^p
  <description> ; ^p
  <references>. ^p

<other models> ::= Other Models: ^p
  <hearing> ;
  <touch> ;
  <smell> ;
  <flavor>

<hearing> ::= Hearing: Yes | Hearing: No
<touch> ::= Touch: Yes | Touch: No
<smell> ::= Smell: Yes | Smell: No
<flavor> ::= Flavor: Yes | Flavor: No

```

Figura 7: Caracterização do Sistema Gerador de Modelos Virtuais

```

<graphic model> ::=
  GraphicModel: <yn> ^p
  <graphic quality> ;
  <extracted from real world> ;
  <knowledge about the real world> ;
  <dynamics> ;
  <interactivity> ;
  <technology>

<graphic quality> ::= 2D Gray Wireframe | 2D Color Wireframe | 2D Photo
Realistic | 3D Gray Wireframe | 3D Color Wireframe | Realistic | Real

<extracted from real world> ::= Extracted from Real World: True | Extracted
from Real World: False

<knowledge about real world> ::= No knowledge about real world |
Segmented | Segmented and Labeled

<dynamics> ::= Dynamics: True | Dynamics: False

<interactivity> ::= Interactive: True | Interactive: False

<technology> ::=
  Hardware Platform: (<plain text>); ^p
  Operating System: (<plain text>); ^p
  Graphic Language: (<plain text>); ^p

```

Figura 8: Caracterização do Modelo Gráfico.

2. Extraído do Mundo Real: O modelo virtual pode ter como base informação sobre objectos reais ou não. Em algumas aplicações de RA para a cirurgia guiada por imagem, o modelo virtual é construído tendo como base elementos do mundo real [Braz, 2000].
3. Conhecimento Sobre o Mundo Real: coincide completamente com a descrição apresentada em [Milgram et Al., 1994] para Extent of world knowledge. Foram identificadas três categorias de sistemas: Nenhum Conhecimento, | Segmentado, | Segmentado e Etiquetado.
4. Dinamismo: O Modelo Virtual é ou não dinâmico, isto é, modifica-se ou não ao longo do tempo, independentemente da interacção com o utilizador.
5. Interactividade: O modelo virtual reage ou não à interacção com o utilizador

6. Tecnologia: as características relacionadas com a tecnologia usada abarcam os conceitos de Plataforma de Hardware, Sistema Operativo e Linguagem Gráfica.

3.6 Sistema Misturador de Realidades

Para a caracterização do Sistema Misturador de Realidades (Figura 9) interessa-nos em especial a caracterização da mistura de Realidades Visuais.

```

<DEF Mixing Realities Subsystem> ::= Mixing Realities Subsystem ^p
  <MR system> ^p

<MR system> ::= <MR subsystem> | <MR subsystem> <MR system>

<MR subsystem> ::=
  <key> - <title> - <year> ; ^p
  <visual realities> ; ^p
  <other models> ; ^p
  <link> ; ^p
  <description> ; ^p
  <references>. ^p

```

Figure 9: Caracterização do Sistema de Misturador de Realidades

Realidades Visuais

[Azuma, 1997] identifica duas tecnologias de mistura de imagem: óptica e vídeo, e caracteriza-as em termos das vantagens e desvantagens de cada uma delas. Para a presente caracterização segue-se de perto a discussão apresentada por Azuma, alterando o termo vídeo para electrónico querendo com esta alteração realçar o carácter da tecnologia que processa os canais de imagem. De salientar que os dois tipos de tecnologias implicam a especificação de características radicalmente diferentes.

```

<visual realities> ::= Visual Realities Mixing Subsystem ^p
  <background image> ; ^p
  <foreground image> ; ^p
  <mixer technology> ; ^p

<mixer technology> ::=
  Electronic: Chromakeying | Electronic: Depth based | <optical mixer>

<optical mixer> ::= Optical Mixer: <characteristics>

<characteristics> ::=
  Reflected Light: <real number> % , <filtered wave length>

<filtered wave length> ::=
  Filtered Wave Length: (<real number> - <real number> 1012Hz)

<background image> ::= Background Image: <type of image>

<foreground image> ::= Foreground Image: <type of image>

<type of image> ::= Computer Generated Imagery| Video | Real World

```

Figura 10: Caracterização do Sistema Misturador de Realidades Visuais.

Assim sendo é necessário caracterizar o Sistema de mistura como sendo:

1. Óptico
2. Electrónico

E em seguida cada uma das duas tecnologias com as características inerentes a cada uma delas, no caso da

tecnologia electrónica, ainda segundo [Azuma, 1997] importa diferenciar se a mistura é feita por:

1. Chroma Keying ou
2. Baseada em Informação sobre Profundidade,

Caso o sistema misturador de imagem seja óptico descrevem-se as principais características como sejam a percentagem de luz proveniente do mundo real que o meio misturador translúcido reflecte e a presença ou não de filtragem de determinados comprimentos de onda [Azuma, 1997].

3.7 Sistema de Apresentação

Considera-se que o Sistema de Apresentação (Figura 11) deve incluir a possibilidade de reproduzir qualquer das realidades misturadas produzidas pelo Sistema Misturador de Realidades. Para o presente trabalho é relevante apenas o sistema de visualização.

```
<DEF Display Subsystem> ::= Display Subsystem: ^p <D system> ^p
<D system> ::= <D subsystem> | <D subsystem> <D system>
<D subsystem> ::=
  <key> - <name> - <year> ; ^p
  <visual display> ; ^p
  <other models> ; ^p
  <link> ; ^p
  <description> ; ^p
  <references> . ^p
```

Figura 11: Caracterização do Sistema de Apresentação.

3.8 Sistema de Visualização

A caracterização de um sistema de visualização (Figura 12) faz-se de acordo com os 5 conceitos de que em seguida se apresentam os respectivos valores semânticos.

```
<visual display> ::= Visual Display Subsystem ^p
  <display system technology> ; ^p
  <users view point> ; ^p
  <scale> ; ^p
  <color> ; ^p
  <resolution> ; ^p
  <refresh rate> ; ^p
<display system technology> ::= Optical see-through HMD | Video see-through HMD | Both Optical & Video see-through HMD | Projector to the Real World | Projector to a Special Device | Large Screen | Desktop Monitor
<users view point> ::= Egocentric | Exocentric
<scale> ::= Orthoscopic | Nonorthoscopic
<color> ::= Color: <type of color>
<type of color> ::= 1 bit | 8 bits | 16 bits | 24/32 bits
<resolution> ::= Resolution: <integer> X <integer>
<refresh rate> ::= Refresh Rate: <integer> Hz
```

Figura 12: Caracterização do Sistema de Apresentação Óptico.

1. Tecnologia: A tecnologia de visualização usada pode basear-se num dos quatro dispositivos listados: Optical see-through HMD, Video see-through HMD, Monitor, Projector.

2. Ponto de Vista do Utilizador: De acordo com [Milgram et Al., 1994] os dispositivos de visualização dividem-se nos que colocam o utilizador no centro do mundo, ou egocêntricos, de que são exemplos qualquer tipo de HMD e alguns tipos de sistemas baseados em projectores, e naqueles que colocam o utilizador fora do mundo observado, ou exocêntricos, de que um exemplo típico é o vulgar ecrã de computador.
3. Escala: De acordo com [Milgram et Al., 1994] os sistemas de visualização podem dividir-se entre os que permitem representar o mundo observado num factor de escala 1:1, ou ortoscópicos, e aqueles que não permitem.
4. Cor: Quantidade de cores passíveis de reproduzir com o dispositivo de apresentação em número de bits necessários para as representar: 1 bit | 8 bits | 16 bits | 24/32 bits.
5. Frequência de refrescamento: Quantidade de quadros apresentados por segundo.

3.9 Sistema Real de Manipulação de Objectos

Considerando que a tecnologia envolvida é determinante para definir as características do sistema manipulador, e que estas são radicalmente diferentes para cada tipo de tecnologia, limitamo-nos a listar os tipos de tecnologias passíveis de utilizar para interagir hapticamente com o mundo real e virtual.

```
<DEF Real Manipulator Subsystem> ::=
  Real Manipulator Subsystem: ^p
  <RM system> ^p
<RM system> ::= <RM subsystem> | <RM subsystem> <RM system>
<RM subsystem> ::=
  <key> - <name> - <year> ; ^p
  <technology> ; ^p
  <link> ; ^p
  <description> ; ^p
  <references> . ^p
  <technology> ::= Virtual Reality Gloves | Robot | Robot Arm |
  Pointer | <other>
<other> ::= <plain text>
```

Figura 13: Caracterização do Sistema Real de Manipulação de Objectos

3.10 Sistema de Seguimento

De acordo com [Azuma, 1997] o maior dos obstáculos que, por si só, impede a construção de sistemas de RA eficazes, reduz-se aos requisitos quanto a sistemas de seguimento que reportem a localização do utilizador e dos objectos do ambiente real com elevada precisão e longo raio de acção. Aí, aponta-se como sendo o mais provável dos caminhos evolutivos o recurso a sistemas de seguimento complexos que recorram a diferentes tecnologias, por forma a extrair de cada uma as principais potencialidades e eliminar as desvantagens, caminho este que, de facto, de 1997 para cá se tem verificado [Livingston et Al., 1997] [Azuma et Al., 1999] [Auer et Al., 1999], a par, no entanto, de uma

clara preponderância no recurso a técnicas de visão computacional para o seguimento de objectos [Klinker et Al., 1999] [Dorfmueller, 1999] [Seibert, 1999].

A procura de uma solução para este problema tem sido uma das mais profícuas áreas de investigação da RA, e senão note-se a quantidade de artigos a ela dedicada. De tudo isto decorre que um dos subsistemas que de facto pode ser considerado como um dos mais relevantes num sistema de RA é também um dos mais difíceis de caracterizar. Desde logo porque a grande maioria recorre a sistemas de seguimento complexos, que incorporam diferentes tecnologias e metodologias, mas além disso, muito trabalho existente sobre dispositivos de seguimento tem sido desenvolvido pelo campo da biomecânica, onde os critérios classificativos divergem claramente dos critérios usados nos trabalhos sobre Realidade Virtual e Realidade Aumentada.

Para a caracterização dos sistemas de seguimento baseamo-nos principalmente em três trabalhos: [Rolland et Al, 2000], os Capítulos 4 e 5 de [Durlach, 1995], e [Mulder, 1994] um relatório técnico sobre dispositivos de seguimento de movimento humano da área da biomecânica, cujas últimas actualizações na WEB datam de 1998.

Os parâmetros usados para caracterização dos sistemas de seguimento são comuns aos três subsistemas potencialmente existentes num sistema de RA e identificados na Figura 2, pelo que são aqui apresentados apenas uma vez sob o título genérico de Sistemas de Seguimento, mas tendo em consideração que, quando da classificação de um sistema de RA teremos sempre de identificar o objecto seguido (<Tracked Object> na sintaxe da Figura 14), nomeadamente:

1. Sistema de Captação de Imagem ou SCI,
2. Objectos Reais que se movimentem na cena,
3. Sistema Real de Manipulação de Objectos.

As características identificadas como relevantes para a classificação de sistemas de seguimento são as seguintes:

1. Complexidade: Um Sistema de Seguimento dir-se-á Elementar quando envolver apenas uma das tecnologias citadas como elementares em [Durlach et Al., 1995]. Em contraponto considerar-se-á um sistema de seguimento Complexo quando envolver o recurso a mais de uma das tecnologias ou metodologias consideradas elementares. A classificação dos dispositivos elementares de seguimento segue de perto a proposta em [Durlach et Al., 1995]. Note-se que [Mulder, 1994] propõem uma classificação completamente diferente ao sistematizar tecnologias de seguimento do movimento humano, no entanto, ao nível das tecnologias elementares descritas, todos os dispositivos por ele citados se conseguem enquadrar nos tipos de tecnologias apresentados em [Durlach et Al., 1995]. Um único ponto merece no entanto referência, a relevância dada em [Mulder, 1994] aos

dispositivos do tipo *force ball* e Multibotões aos quais aqui não fazemos referência explícita optando pela sua inclusão nos dispositivos mecânicos com ligação à terra.

2. Tipo: Distinguem-se aqui três grandes categorias enunciadas em [Moeslund et Al., 2001]: *Passive Tracking*, *Tracking Based on Markers*, *Active Tracking*.

```

< DEF Tracking Subsystem > ::=
  Tracking Subsystem for < tracked object > ^p < T system > ^p
< T system > ::= < T subsystem > | < T subsystem > < T system >
< T subsystem > ::=
  < key > - < title > - < year > ; ^p
  < technology >
< tracked object > ::=
  Image Acquisition Subsystem | Real Objects | Real Manipulator
  Subsystem
< technology > ::=
  Passive Tracking: ^p < technical characteristics > |
  Tracking Based on Markers: ^p < technical characteristics > |
  Active Tracking: < active tracker type > ; ^p < technical characteristics >
< active tracker type > ::= Goniometer | Earth Grounded | Magnetic | Acoustic
| Inertial | Eye Tracker | Structured Light System | Radar | Laser | <Other>
< technical characteristics > ::= < tracked data > ;
  < resolution > ;
  < sampling rate > ;
  < latency > ;
  < range > ;
  < workspace > ;
  < cost > ;
  < quantity of simultaneous measurements > ;
  < susceptibility to obscurity > ;
  < ease of calibration > ;
  < technical complexity > ;
  < convenience > ; ^p
  < link > ; ^p
  < description > ; ^p
  < references > . ^p
< tracked data > ::= Motion | 2D Position | 3D Position | 2D Orientation |
  2D Position and Orientation | 3D Position and Orientation
< resolution > ::= < maximal positional error > | < maximal angular error > |
  < maximal positional error > < maximal angular error >
< maximal positional error > ::= Maximal Positional Error:
  ( < real > mm X - < real > mm Y - < real > mm Z )
< maximal angular error > ::= Maximal Angular Error:
  ( < angle > XY - < angle > YZ - < angle > ZX )
< sampling rate > ::= Sampling Rate: < real > Hz
< range > ::= Range: < real > m
< latency > ::= Latency: < real > ms
< workspace > ::= Room | Rooms | Modular | Outdoors
< quantity of simultaneous measurements > ::=
  Quantity of Simultaneous Measurements: < integer > |
  Quantity of Simultaneous Measurements: undetermined
< susceptibility to obscurity > ::= Susceptibility to Obscurity: < yn >
< technical complexity > ::= Technical Complexity: < degree >
< degree > ::= 1 | 2 | 3 | 4
< convenience > ::= Convenience: < degree >
< ease of calibration > ::= Ease of Calibration: < degree >
< cost > ::= Price: < integer > * 10<integer>€

```

Figura 14: Caracterização do Sistema de Seguimento

3. Tipo de seguidor activo: Seguindo [Durlach et Al., 1995] enunciam-se 9 tipos de seguidores activos: *Goniometer, Earth Grounded, Magnetic, Acoustic, Inertial, Eye Tracker, Structured Light System, Radar, Laser.*
4. Características Técnicas: independentemente do tipo de seguidor foram identificadas 12 características relevantes para a classificação de sistemas de seguimento. As características técnicas coincidem quase completamente com as propostas em [Durlach et Al., 1995]. Note-se que a definição das três últimas características : <Facilidade de calibração>, <Complexidade Técnica> ou <Conveniência> são de aferição bastante subjectiva. Optou-se no entanto pela sua manutenção a fim de permitir uma maior correspondência com as descrições de [Durlach et Al., 1995]. Em seguida apresenta-se o significado de cada uma destas características:
 - a. Dados Estáticos Rastreados: De acordo com a literatura, nomeadamente [Mulder, 1994], mas também com os diferentes sistemas de RA analisados, os dispositivos de seguimento podem captar apenas ou a posição ou a orientação dos objectos seguidos, caso em que para um sistema de RA se torna necessário combinar mais de um sistema, ou ainda permitir captar simultaneamente as posição e orientação.
 - b. Resolução: Entenda-se por Resolução o conjunto dos erros de posição e orientação máximos do sistema de seguimento.
 - c. Erro Posicional Máximo: O conceito de erro posicional máximo é definido como sendo a diferença em milímetros entre a posição de facto do objecto seguido e a posição reportada pelo dispositivo de seguimento em qualquer das três dimensões espaciais. Considerando que alguns dos dispositivos apresentam erros máximos de posição diferentes consoante se trate da profundidade e da largura ou altura, opta-se aqui por especificar o erro máximo para cada uma das dimensões.
 - d. Erro Angular Máximo: O conceito de erro máximo de orientação é definido como sendo a diferença em graus entre a orientação de facto do objecto seguido e a orientação reportada pelo dispositivo de seguimento em redor de qualquer dos três eixos de rotação de um sistema Cartesiano. Considerando que alguns dos dispositivos apresentam erros máximos diferentes consoante o plano em que é medido o angulo, opta-se aqui por especificar o erro máximo no plano perpendicular a cada um dos eixos de um sistema Cartesiano.
 - e. Taxa de Amostragem: Numero de amostras fornecidas por segundo.
 - f. Alcance: Distância máxima, em metros, a que o sistema de seguimento permite obter dados fidedignos.
 - g. Espaço de Trabalho: Caracteriza o Sistema de Seguimento em termos do tipo de área em que pode ser usado. Um sistema modular é aquele que está, à partida, preparado para ser ampliado de forma

modular à medida das necessidades, sem que no entanto permita um funcionamento em espaços abertos.

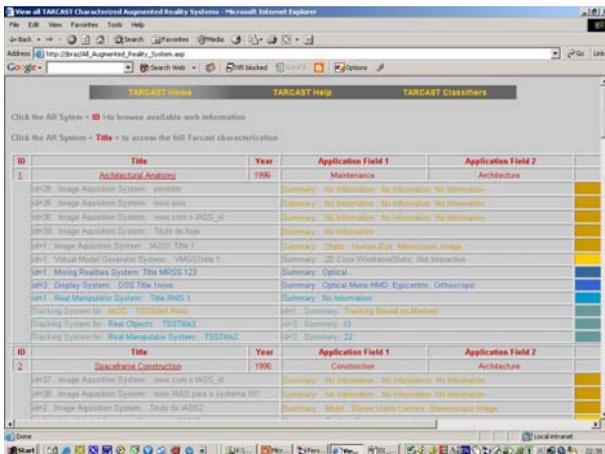
- h. Custo: Ordem de grandeza do preço do sistema de seguimento
- i. Susceptibilidade à Ocultação: sim ou não
- j. Quantidade de medições Simultâneas: Medição Única | Medições Múltiplas | Indeterminado.
- k. Facilidade de calibração: Considerando o elevado grau de subjectividade presente no julgamento sobre a complexidade técnica de um sistema de seguimento, optou-se por impor uma escolha reduzida, apenas quatro graus de complexidade, e forçar uma opção mais positiva ou mais negativa como único critério orientador oferecendo um número par de escolhas. Quanto maior mais fácil é a calibração.
- l. Complexidade Técnica: Considerando o elevado grau de subjectividade presente no julgamento sobre a complexidade técnica de um sistema de seguimento, optou-se por impor uma escolha reduzida, apenas quatro graus de complexidade, e forçar uma opção mais positiva ou mais negativa como único critério orientador oferecendo um número par de escolhas. Quanto maior mais complexo é o sistema.
- m. Conveniência: Considerando o elevado grau de subjectividade presente no julgamento sobre a conveniência de um sistema de seguimento, optou-se por impor uma escolha reduzida, apenas quatro graus de conveniência, e forçar uma opção mais positiva ou mais negativa como único critério orientador oferecendo um número par de escolhas. Quanto maior o valor mais conveniente é o sistema.

4 TARCAST: APLICAÇÃO DE SUPORTE À CARACTERIZAÇÃO

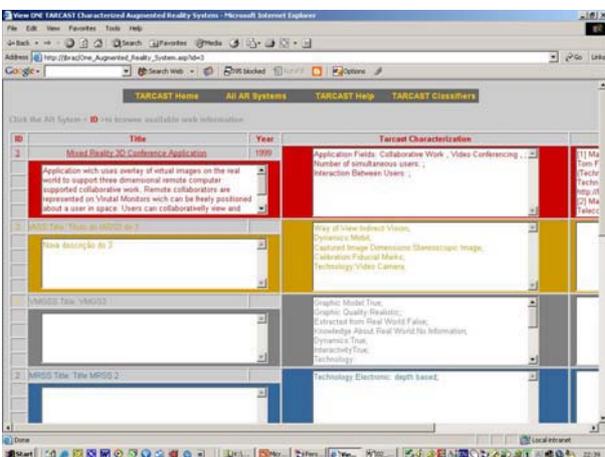
Para suporte ao processo de caracterização dos sistemas de RA com recurso à taxonomia descrita no ponto 3, foi desenvolvida uma aplicação, também denominada TARCAST (Figura 15), a que se pode aceder através de <http://ltodi.est.ips.pt/jbraz/Tarcast/index.htm> , sendo actualmente possível:

1. Ver uma resumida descrição da caracterização de todos os sistemas analisados em http://ltodi.est.ips.pt/jbraz/Tarcast/All_Augmented_Reality_System.asp
2. Ver a caracterização completa de cada sistema premindo o nome do sistema requerido na página indicada em 1).
3. Caracterizar novos sistemas de RA em <http://ltodi.est.ips.pt/jbraz/Tarcast/registration.htm>
4. Obter uma *password* e um nome de utilizador que permita a qualquer interessado caracterizar novos sistemas de RA e registá-los no TARCAST.
5. Alterar os dados relativos à caracterização de um dado sistema entrando com o nome de utilizador

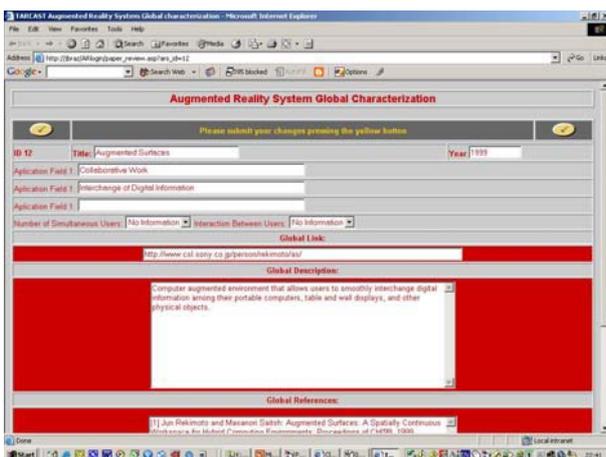
correspondente ao sistema a alterar e respectiva password.



a)



b)



c)

Figura 15: Interface da aplicação de suporte ao processo de caracterização. a) Listagem de todos os sistemas caracterizados. b) Listagem completa de um dos sistemas. c) Página inicial para caracterização de um sistema.

5 VANTAGENS

Algumas das potenciais vantagens da presente taxonomia são:

1. Pode vir a permitir obter uma classificação para os sistemas de RA de acordo com a taxonomia proposta por Paul Milgram para os Sistemas de Apresentação de Realidade Misturada de forma automática, bastando para tal especificar um sistema de ponderação para cada característica técnica.
2. Pode vir a permitir classificar os modelos virtuais de acordo com a taxonomia proposta por Zeltzer para os sistemas de realidade Virtual de forma automática, seguindo o mesmo princípio enunciado em 1).
3. Realça o facto de algumas das características necessárias para a classificação segundo a taxonomia de Milgram estarem distribuídas pelos diferentes constituintes de um sistema de RA, e desta forma:
4. Permite endereçar de forma mais clara os requisitos globais de um sistema de RA para o subsistema a que devem ser exigidos e permite endereçar os problemas com que se defronta a RA aos subsistemas mais intimamente relacionados com cada um deles.
5. Permite uma procura das características técnicas mais apropriadas ao desenvolvimento de futuros sistemas de RA com base nas tecnologias e metodologias actualmente usadas.

6 CONCLUSÕES

O desenvolvimento da taxonomia para Sistemas de RA possibilitou um estudo estruturado e comparativo de diferentes sistemas actualmente em funcionamento, mas, além disso, tornou claro que, num contexto em que a RA já está a sair dos laboratórios [Azuma et Al., 2001], facilita a escolha das tecnologias e metodologias que melhor se adaptem às necessidades de cada sistema de RA podendo vir a contribuir para transformar uma área ainda claramente de investigação e em que cada sistema é construído de raiz, numa área de desenvolvimento em que, com base em diferentes soluções para diferentes elementos constitutivos de um sistema de RA (no sentido da figura 2) seja possível desenvolver novos sistemas de forma modular, escolhendo “o melhor de cada um”.

A classificação de diferentes sistemas levou-nos a concluir que o processo de caracterização pode ser simplificado eliminando alguma da redundância ainda existente. Como exemplo disso, características como a ego/exocentricidade ou a ortoscopia parecem poder ser extraídas das tecnologias de visualização deixando assim de figurar de forma explícita, antes podendo ser “inferidas” de outras características classificativas.

7 TRABALHO FUTURO

De acordo com a última das conclusões acima enunciadas, é necessário eliminar a redundância ainda existente ao nível das características usadas para classificar cada sistema.

Tratando-se de uma taxonomia de sistemas com elevado nível de complexidade as futuras contribuições e evoluções em cada área deverão ser incorporadas, sob pena de a taxonomia se tornar obsoleta a curto prazo.

A possibilidade de inferir as classificação propostas em [Milgram et Al., 1994], para sistemas de visualização, e em [Zeltzer, 1992] para sistemas de realidade virtual, a partir da caracterização obtida com o TARCAST é um objectivo a atingir. Para o conseguir é no entanto necessário coligir uma quantidade significativa de sistemas classificados.

A possibilidade de alargar o tipo de consultas por procura e ordenação, se bem que possibilitado pela estrutura da base de dados subjacente ainda não foi implementada através da interface de utilização.

8 BIBLIOGRAFIA

- [Auer et Al., 1999] Thomas Auer, Axel Pinz: *The integration of optical and magnetic tracking for multi-user augmented reality*; Computer & Graphics, N°23, pp 805-808, Pergamon, 1999.
- [Azuma, 1997] Ronald T. Azuma: A Survey of Augmented Reality, in Presence: Teleoperators and Virtual Environments, Vol. 6, n°4, pp. 355-385, 1997.
<http://citeseer.nj.nec.com/azuma95survey.html>.
- [Azuma et Al., 1999] R. T. Azuma, J. W. Lee, B. Jiang, J. Park, S. You, U. Neumann: *Tracking in unprepared environments for augmented reality systems*, Computer & Graphics, N°23, pp 787-793, Pergamon, 1999.
- [Azuma et Al., 2001] R. Azuma, Y. Bailiot, R. Behringer, S. Feiner, S. Julier, B. MacIntyre: Recent Advances in Augmented Reality. IEEE Computer Graphics and Applications 21, 6 (Nov/Dec 2001), 34-47.
<http://www.cs.unc.edu/~azuma/cga2001.pdf>.
- [Billinghurst et Al., 1999] Mark Billinghurst, Hirokazu Kato: Collaborative Mixed Reality, in Proceedings of International Symposium on Mixed Reality (ISMR '99). Mixed Reality--Merging Real and Virtual Worlds, pp. 261-284, 1999.
<http://hitl.washington.edu/publications/i-98-36/>.
- [Braz, 2000] José Braz: *Realidade Aumentada em Engenharia Biomédica: Estado da Arte*, in Actas da 5ª Workshop em Engenharia Biomédica, Instituto Superior Técnico, Lisboa, 2000.
http://todi.est.ips.pt/jbraz/ficheiros/pubs/2000_5web_jbraz.pdf
- [Braz, 2005] José Braz, João Pereira, António Veloso: "VIDA – Interactive Viewer of Augmented (biomechanical) Data". in VIRTual (ISSN: 0873-1837)- special edition: "Advances in Computer Graphics in Portugal". Janeiro 2005.
- [Dorfmueller, 1999] Klaus Dorfmueller: *Robust tracking for augmented reality using retroreflective markers*, Computer & Graphics, N°23, pp 795-800, Pergamon, 1999.
- [Dubois et Al., 1999a] Emmanuel Dubois, Laurence Nigay, Jocelyne Troccaz, Olivier Chavanon, Lionel Carrat: Classification Space for Augmented Surgery, an Aumented Reality Case Study, in Proceedings of INTERACT'99, pp. 353-359, 1999.
<http://citeseer.nj.nec.com/dubois99classification.html>.
- [Durlach et Al., 1995] Nathaniel I. Durlach, Anne S. Mavor (Editors): Virtual Reality: Scientific and Technological Challenges, Report of the Committee on Virtual Reality Research and Development to the National Research Council, National Academy Press, pp. 161-204, 1995, ISBN: 0-309-05135-5.
- [Klinker et Al., 1999] G. Klinker, D. Stricker, D. Reinert: *Optically based direct manipulation for augmented reality*; Computer & Graphics, N°23, pp 827-830, Pergamon, 1999.
- [Kutulakos et Al., 1998] Kiriakos N. Kutulakos, James R. Vallino: Calibration Free Augmented Reality, in IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, Vol 4, n°1, January March, 1998.
<http://www.cs.rochester.edu/u/kyros/site/research/augment/augment.html>
- [Livingston et Al., 1997] Mark A. Livingston, Andrei State: *Magnetic Tracker calibration for Improved Augmented Reality Registration*; Presence, Vol 6, N°5, pp 532-546, October 1997.
- [Milgram et Al., 1994] Paul Milgram, Fumio Kishino: A Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays, in IEICE Transactions on Information Systems, Vol E77-D, N°12, December, 1994.
http://vered.rose.utoronto.ca/people/paul_dir/IEICE94/ieice.html
- [Moeslund et Al., 2001] Thomas B. Moeslund, Erik Granum: A Survey of Computer Vision-Based Human Motion Capture. In Int. Journal of Computer Vision and Image Understanding, No. 3, Volume 81, 2001.
<http://citeseer.nj.nec.com/moeslund99computer.html>
- [Mulder, 1994] Axel Mulder: Human movement tracking technology, Hand Centered Studies of Human Movement project, technical report 94-1, 1994.
<http://www.cs.sfu.ca/~amulder/personal/vmi/HMTT.pub.html>.
- [Naimark, 1991] Michael Naimark: Elements of Realspace Imaging: a Proposed Taxonomy, in Proceedings of First Moscow International Workshop on Human-Computer Interaction, Moscow, 1991.
<http://www.naimark.net/writing/realspace.html>
- [Nakajima et Al., 1998] S. Nakajima, R. Kikinis, P. M. Black, H. Atsumi, M. E. Leventon, N. Hata, D. C. Metcalf, T. M. Moriarty, E. Alexander, F. A. Jolesz: Image-Guided Neurosurgery at Brigham and Women's Hospital.
http://splweb.bwh.harvard.edu:8000/pages/papers/shin/book_chap/manus.html
- [Rekimoto et Al., 1999] Jun Rekimoto and Masanori Saitoh: Augmented Surfaces: A Spatially Continuous Workspace for Hybrid Computing Environments; Proceedings of CHI'99, 1999.
<http://www.csl.sony.co.jp/person/rekimoto/papers/chi99.pdf>
- [Rolland et Al., 2000] J.P. Rolland, L. Davis, Y. Bailiot: *A Survey of Tracking Technology for Virtual Environments*, in Augmented Reality and Wearable Computers, Ch. 3, Ed. Barfield and Caudell, Mahwah, NJ., 2000.
http://www.ait.nrl.navy.mil/people/bailiot/publications/Tracking_survey/tracking-chapter.PDF
- [Seibert, 1999] Frank Seibert: *Augmented reality using uncalibrated optical tracking*; Computer & Graphics, N°23, pp 801-804, Pergamon, 1999.
- [Seo et Al., 2000] Yongduek Seo, Ki Sang Hong: Calibration-Free Augmented Reality in Perspective, in IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, Vol. 6, N°4, October-December, 2000.
- [Vallino, 2001] Jim Vallino: Introduction to Augmented Reality; 2001.
<http://www.se.rit.edu/~jrv/research/ar/introduction.html>.
- [Zeltzer, 1992] David Zeltzer: Autonomy, Interaction and Presence; Presence: Teleoperators and Virtual Environments, Vol1, N°1, Winter 1992.