

# RESOLV: DA ROBÓTICA À REALIDADE VIRTUAL

João Gomes Mota, Maria Isabel Ribeiro

*Instituto Superior Técnico/Instituto de Sistemas e Robótica  
Av. Rovisco Pais, P 1049-001 LISBOA  
e-mail: (jsgm,mir)@isr.ist.utl.pt*

**Resumo:** Apresentação do projecto RESOLV, ilustrando as suas diversas facetas e fases de desenvolvimento. O projecto RESOLV procura desenvolver um sistema de reconstrução de ambientes de interior em três dimensões, baseado em medidas de laser e imagens vídeo. A solução proposta inclui um sistema de aquisição com laser e vídeo, um conjunto de programas para reconstrução e apresentação dos ambientes reconstruídos, uma plataforma móvel autónoma para transporte dos sensores e um ambiente de operação baseado na Internet. O resultado imediato é um ambiente a três dimensões “visitável” pela Internet.

**Palavras Chave:** Robótica Móvel, Reconstrução tridimensional de ambientes, Medições com Laser, Realidade Virtual.

## 1. INTRODUÇÃO

A generalização dos computadores pessoais ocorrida nas últimas duas décadas aproximou as mais diversas pessoas e profissões de uma nova ferramenta de interacção com o mundo envolvente. A princípio, os programas imitavam os modelos pré-existentes, tal como o processamento de texto segue a máquina de escrever ou o desenho arquitectónico e técnico por computador (CAD) segue o desenho tradicional a duas dimensões com o qual era cotejado.

Contudo, à medida os computadores se tornaram familiares, outros modos de representação e operação com a realidade surgiram, ultrapassando largamente tudo o que se conhecia até então. Entre muitos exemplos possíveis, destacam-se os jogos de computador e a realidade virtual.

Ao mesmo tempo, a Robótica tem evoluído a um ritmo porventura ainda mais rápido, embora menos visível, e é hoje possível construir robots sofisticados, com um grau de controlo autónomo notável a partir de uma caixa de LEGO [10], por exemplo, ou enviar um robot móvel a Marte capaz de administrar sozinho a sua missão e enviar dados para a base.

O terceiro elemento desta revolução tecnológica foi a banalização de equipamentos electrónicos de qualidade superior e computa-

dores com poder de cálculo sempre crescente, o que permite trazer o processamento de imagens a três dimensões (3D) em tempo real para os computadores domésticos.

Finalmente, a Internet estendeu-se a quase todo o mundo, tornando o acesso à informação independente da distância. Este efeito é capital na disseminação dos conteúdos pelo universo dos interessados a um custo mínimo, levando até cada computador pessoal um manancial de dados que até agora só estava ao alcance de profissionais.

O projecto RESOLV situa-se na encruzilhada das novas formas de apreensão do real, da evolução da robótica, da melhoria constante dos computadores e sensores electrónicos e da expansão da Internet.



Fig. 1 - Pormenor de um modelo

Este projecto, fruto da cooperação de centros de investigação, universidades e empresas europeias [1], procura acompanhar a

vanguarda da tecnologia na área da visualização de ambientes tridimensionais.

Neste texto, os vários aspectos do projecto são apresentados. Na Secção 2 descrevem-se os modelos reconstruídos e as utilizações em perspectiva. A Secção 3 aborda os elementos do sistema de aquisição. Na Secção 4 apresenta-se o conjunto de programas e ferramentas utilizados. Finalmente, na Secção 5 sumaria-se o estado actual do projecto, os desafios e iniciativas que se adivinham nesta área.

O objectivo do projecto RESOLV (Reconstruction Using Scanned Laser and Video) é recriar espaços interiores e edifícios num modelo computadorizado a três dimensões. Para tal utiliza um sensor sofisticado, dotado de uma câmara de varrimento laser, uma câmara de vídeo, além de outros sensores auxiliares. O sensor é controlado por um computador que controla a aquisição de dados, efectua o cálculo dos modelos 3D reconstruídos e disponibiliza os resultados preliminares pela Internet.

O sistema de aquisição foi chamado EST do inglês **E**nvironment **S**ensor for **T**elepresence. Com este sistema pretende-se proporcionar ao utilizador uma experiência de *visita ao local* tão real e exacta quanto possível. A título de exemplo, a Fig. 1 apresenta um pormenor de uma sala antiga com painéis de madeira e a Fig. 2 uma vista geral de uma sala comum. Note-se que embora pareçam simples fotografias, os modelos reconstruídos incluem a descrição exacta do espaço tridimensional, como se verá de seguida.



Fig. 2 - Vista geral de um modelo

Dado que para reconstruir um ambiente é quase sempre necessário tomar vistas a partir de pontos diferentes, o sistema RESOLV deve ser deslocado entre os pontos de aquisição. Para tal, foram desenvolvidos sistemas de transporte manual como tripés e carrinhos empurrados manualmente (Fig. 3), mas também um robot móvel autónomo (Fig. 4) dotado

de um sistema de controlo remoto por Internet sem fios, integrando toda a operação do sistema num “interface” amigável para o utilizador. A este último chamou-se AEST: Autonomous Environment Sensor for Telepresence.



Fig. 3 - EST



Fig. 4 - AEST

## 2. OS MODELOS RESOLV E A REALIDADE VIRTUAL

O que são e como se utilizam os modelos RESOLV? Os modelos RESOLV descrevem um ambiente de interior como um conjunto de superfícies adjacentes. Cada superfície é descrita pela sua posição no espaço euclidiano. Além da posição, a descrição das superfícies contém texturas que reproduzem o aspecto fotográfico das mesmas. As características das superfícies são expressas numa linguagem específica designada VRML-Virtual Reality Modelling Language [12]. Os espaços definidos em VRML podem ser visualizados pela Internet usando um programa auxiliar (*plugin*) específico [13].

O ambiente assim representado aproxima-se de um cenário de teatro onde os volumes são substituídos por telões que rodeiam os actores. O utilizador pode passear pelo modelo, “atravessar” paredes, rodar o modelo, olhá-lo de fora e outras manobras difíceis de ilustrar em papel.

Aliás, a mudança do paradigma de apresentação da informação referida na introdução torna-se aqui flagrante, pois o papel não é capaz de apresentar adequadamente um espaço 3D. Depois de séculos de alçados, plantas e perspectivas que só os arquitectos e engenheiros apercebiam como um volume tridimensional com objectos, criaram-se finalmente ferramentas que permitem ao utilizador comum visualizar o espaço de forma rigorosa, medir a distância entre dois quaisquer pontos, espreitar por trás ou por baixo dos objectos, numa palavra, descobrir o mundo representado no cenário.

As figuras 5 a 8 ilustram as várias iterações da reconstrução de um modelo. Dado que o

espaço é representado por um conjunto de superfícies, estas são geradas à medida que se encontram no “ângulo de vista” do sensor. Nas Figs 5 e 6 são facilmente visíveis as superfícies desconexas e as áreas negras correspondem às zonas ocultas por trás das fachadas visíveis. Para completar o modelo será então necessário deslocar o sistema de aquisição.



Fig. 5 - Vista geral do modelo em construção



Fig. 6 - Pormenor das fachadas dos armários

Nas Figs 7 e 8 o modelo já está completo. A Fig. 7 apresenta o modelo sem texturas, isto é, usando apenas a informação espacial das superfícies obtida por laser, enquanto a Fig. 8 apresenta as superfícies cobertas com as texturas habituais<sup>1</sup>. Todos os modelos apresentados, além de vários outros, estão disponíveis no espaço Internet do projecto RESOLV [2] onde podem ser visitados.

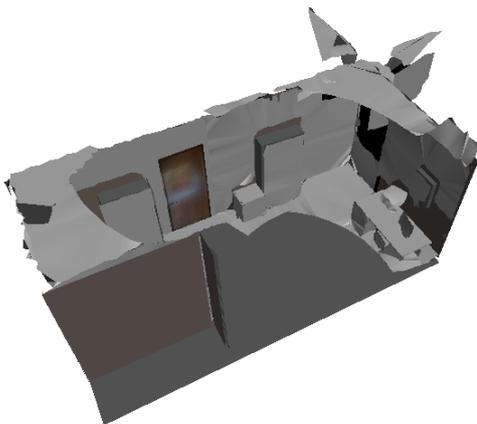


Fig. 7 - O modelo completo com as superfícies nuas

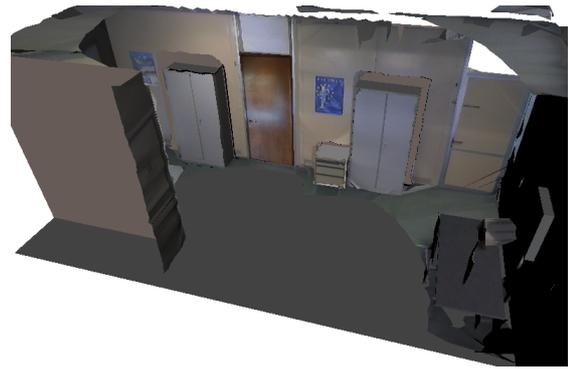


Fig. 8 - Vista geral do modelo texturado

Se os dados em bruto, tal como são aqui apresentados, conseguirem intuir no leitor a sensação do espaço tridimensional, imagine o que é possível alcançar com as técnicas de computação gráfica, processamento de vídeo e realidade virtual, aplicadas a estes modelos.

Quando o projecto começou, as aplicações alvo residiam sobretudo na área da arquitectura e engenharia. Para este tipo de utilizadores a medida da qualidade dos modelos depende sobretudo do rigor da representação 3D e não da completude do modelo ou do aspecto das texturas. Assim sendo, estes utilizadores consideravam satisfatórios os modelos produzidos e as ferramentas disponíveis. Contudo, os últimos dois anos assistiram à generalização das placas gráficas com processamento 3D dedicado, estimulando o aparecimento de novas aplicações dirigidas ao consumidor não especializado, e que estas se impusessem como bitola de aferição da qualidade. Em conformidade, o projecto integrou um novo parceiro ZGDV [1], dedicado à computação gráfica que, entre outros projectos, foi co-criador do Oceanário Virtual da EXPO'98 [14]. Procurou-se deste modo aproximar os modelos RESOLV da qualidade visual requerida pelas novas aplicações.

Nesta transição, o projecto RESOLV aproximou-se da área da Realidade Virtual. Embora a simples visualização dos modelos seja uma pálida experiência de Realidade Virtual, pois não há “imersão” no mundo virtual nem sensores que permitam actuar de forma intuitiva sobre o mundo virtual, é possível usar estes modelos como base de informação espacial de um sistema de Realidade Virtual.

Entre estas novas aplicações destacam-se os Estúdios Virtuais, onde um programa de televisão ou um filme é gravado sobre um cenário monocromático e o cenário final, obtido a partir de um modelo RESOLV, é inserido posteriormente; os jogos e programas de descoberta cultural em que o utilizador usa um capacete ou outro dispositivo de imersão e

<sup>1</sup> Nota: Nas Fig. 7 e 8 a porta entre os armários foi substituída pela porta de outro modelo.

à medida que olha em seu redor vê um mundo à sua escala, onde pode deslocar-se, abrir portas, acercar-se dos objectos; ou, mais simplesmente, os produtos multimedia de apresentação de museus e outros locais históricos cujo acesso é difícil ou mesmo inaceitável por razões de conservação.

Em todas estas aplicações os modelos RESOLV proporcionam múltiplas vantagens sobre as soluções tradicionais. Na aquisição de dados o processo é muito mais expedito do que as soluções ora usadas e que passam pela medição exaustiva e reconstrução em CAD dos espaços, seguida da justaposição de texturas. Tudo isto faz o sistema RESOLV numa fracção do tempo. Por exemplo, a aquisição da sala representada na Fig. 8, pode ser feita em menos de uma hora enquanto a medição manual e fotografia com este rigor tomaria por certo vários dias.

Além disso, os modelos RESOLV podem ser integrados com modelos CAD tradicionais, o que permite, por exemplo, completar o modelo de um monumento em ruínas com o modelo CAD da versão que existiu no passado. Isto é patente na Fig. 9 onde o robot apresentado é o modelo CAD do robot AEST da Fig. 4 e na Fig. 10 onde alguns móveis foram substituídos pelos seus modelos CAD.



Fig. 9 - "Auto-retrato" do AEST



Fig. 10 - A mesa e a cadeira são modelos CAD, o monitor é um misto de CAD e reconstrução RESOLV

Outras perspectivas se abrem com a inserção de vídeo nos modelos estáticos. Esta solução é muito interessante para Video Conferência pois só há que transmitir uma vez o cenário estático e durante a conferência transmite-se apenas a pequena porção de cena correspondente aos oradores em movimento,

que será depois inserida no cenário estático junto do destinatário.

Em resumo, os modelos RESOLV, tal como são aqui apresentados, são um produto final para aplicações de engenharia e arquitectura e um produto intermédio nas aplicações mais sofisticadas e exigentes da Realidade Virtual.

### 3. OS ROBOTS DE AQUISIÇÃO

Os sistemas de aquisição do projecto RESOLV, variam de acordo com as tecnologias disponíveis em cada fase do projecto, as aplicações finais e as especificações de cada tipo de protótipo.

Há três famílias de robots de aquisição: o carrinho manual (Fig. 3) que é autónomo no sentido em que transporta as suas próprias baterias, está ligado à rede Internet por um sistema sem fios e é operado por uma pessoa; o tripé, que é uma versão simplificada do anterior, ligado à rede eléctrica e à Internet com cabos e o robot móvel autónomo AEST (Fig. 4) que pode ser operado remotamente ou localmente como um carrinho. O AEST engloba toda a tecnologia e programas criados no âmbito do projecto RESOLV.

O sistema de aquisição é comum a todos eles (ver na Fig. 11 o AEST): uma cabeça articulada (1) sobre a qual se monta uma prateleira onde estão uma câmara laser (2) e uma câmara de vídeo a cores convencional (3). Os três elementos principais, em especial o laser, variam entre os vários sistemas e o posicionamento geométrico entre eles também (vide Fig. 12 para o EST). Isto resulta da permanente evolução da electrónica e da robótica associada, o que levou o Projecto a acompanhar a saída de novas gerações de sensores e a adaptar os sistemas de aquisição em conformidade.

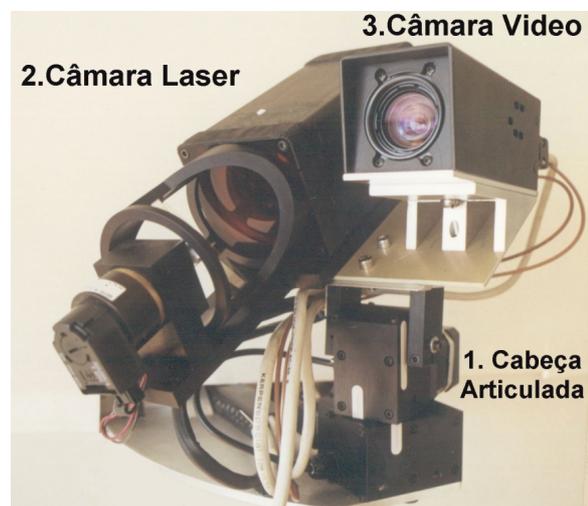


Fig. 11 - Sensor de aquisição RESOLV

O controlo e processamento de dados é feito no computador principal, um computador PC topo de gama equipado com as placas de aquisição e controlo dos vários dispositivos. As especificações deste computador variaram também ao longo do tempo, acompanhando a saída de computadores mais rápidos e poderosos. Além destes elementos principais existem ainda as unidades de transmissão Internet via rádio, as fontes de alimentação e controladores das câmaras e da cabeça articulada e as baterias.

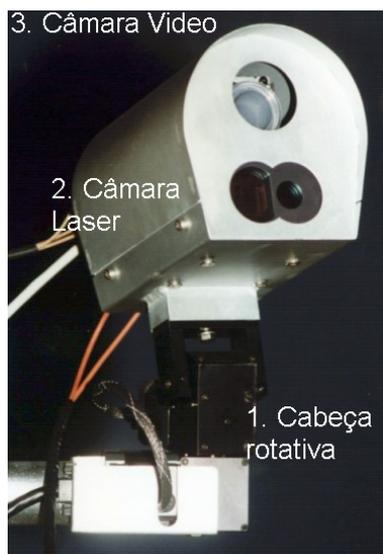


Fig. 12 - Sensor de aquisição do EST

Os elementos atrás indicados são comuns a todas as configurações. A configuração do AEST inclui uma plataforma móvel que transporta todo o material acima descrito. A plataforma móvel, fabricada e equipada pela RoboSoft [1] dispõe de duas rodas motrizes, um anel de sensores de ultra-sons para detecção de obstáculos, as baterias para alimentação de todo o AEST e um computador dotado de um sistema operativo específico para controlo dos movimentos da plataforma. Estão também ligados à plataforma sensores de colisão, os aparelhos de medida de deslocamento, os conversores de tensão para alimentação das câmaras, etc...

A comunicação entre os dois subsistemas estabelece-se através de duas linhas série por onde “descem” (do PC para a plataforma) os comandos de movimento e “sobem” os resultados dos movimentos e o perfil dos obstáculos em torno do robot. É possível ainda mudar o programa de navegação na plataforma móvel, bem como operá-la manualmente passo a passo, ou dar-lhe comandos de emergência.

A utilização de dispositivos de aquisição diversos permitiu maximizar a cada

instante os meios técnicos disponíveis, ao mesmo tempo que se estudava as vantagens e inconvenientes de cada solução. Por outro lado a concepção de um sistema onde os componentes são substituíveis com um esforço reduzido por outros de fabricantes diferentes, abre as melhores perspectivas para a permanente actualização dos robots de aquisição, o que é da maior importância nesta área de trabalho.



Fig. 13 - Robot móvel autónomo do AEST

Actualmente estão em operação dois protótipos do tipo AEST (Fig. 4), um carrinho manual tipo EST (Fig. 3) e dois tripés usando lasers diferentes.

#### 4. O SOFTWARE RESOLV

Os programas desenvolvidos no âmbito do projecto RESOLV seguiram as mesmas linhas de orientação da escolha do equipamento electrónico descrito atrás: optou-se tanto quanto possível por soluções padrão e programas modulares para que mais tarde cada elemento possa ser substituído com um mínimo de alterações nos restantes programas.

Seguindo estas premissas, o sistema operativo escolhido foi o Windows NT 4.0 dado ser aquele que mais aceitação tem junto de fabricantes de *hardware* e *software*, e também porque traz um conjunto de ferramentas integradas, permitindo abreviar algumas etapas do desenvolvimento.

O ambiente de trabalho permite gerir todas as tarefas de forma concorrente e em tempo real. A Fig. 14 ilustra a arquitectura de *software*. A descrição que se segue aplica-se ao robot móvel autónomo AEST em que todos os módulos estão operacionais. Nos outros casos os módulos de fundo escuro não estão implementados.

O ambiente de operação divide-se em três níveis. O nível inferior, desenvolvido no IST [3], trata do controlo da plataforma móvel (Fig. 13) e utiliza-se apenas no AEST. É a este

nível que se tratam os problemas da robótica móvel, nomeadamente a geração de trajectórias até ao próximo ponto de paragem, o cálculo do espaço percorrido ou as manobras de desvio de obstáculos fixos ou móveis. O processamento é totalmente autónomo, sendo apenas comunicado ao nível superior as excepções que impeçam o robot de prosseguir. A intervalos periódicos são enviados para cima a estimativa da posição e o perfil do espaço livre em torno do robot, para informação do operador.

O nível superior, desenvolvido pelo INESC [4], é o interface entre o sistema e o operador (Human Computer Interface). É implementado sobre um *browser* de Internet, e tem o aspecto ilustrado na Fig. 15.

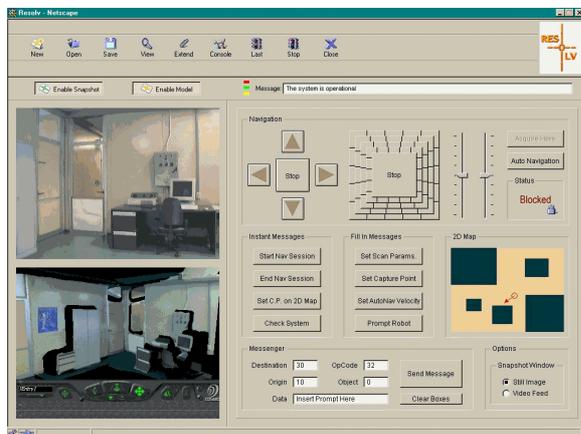


Fig. 15 - Interface com o utilizador

Na coluna da esquerda a janela do topo permite ver as imagens captadas pela câmara de video principal (Fig. 11) ou imagens em movimento captadas por uma pequena câmara instalada no topo do AEST (ver Fig. 4). Estas imagens são utilizadas pelo operador para controlar o movimento do robot no ambiente. Na imagem pequena abaixo pode observar-se o modelo à medida que é criado. Na área maior à direita encontra-se um conjunto de botões para comandar as acções do sistema e,

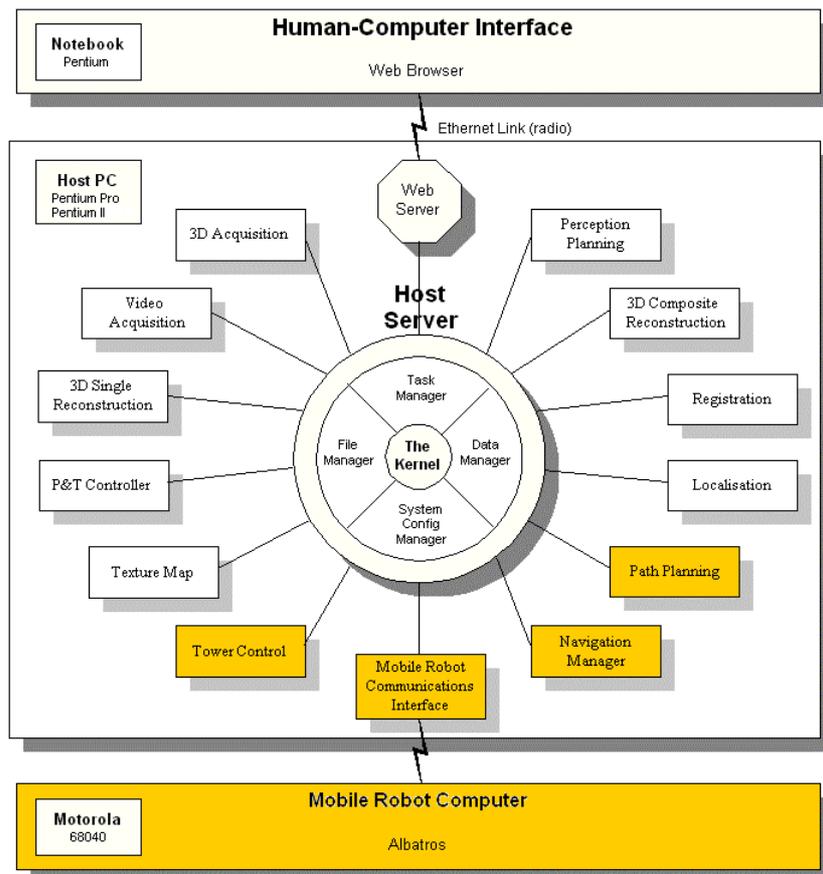


Fig. 14 - Arquitectura de Software

no caso do AEST, escolher os pontos de aquisição ou mesmo conduzir o robot manualmente até ao próximo ponto de aquisição. A ligação entre o interface e o sistema central faz-se por uma ligação Internet rádio.

No nível intermédio encontra-se o software de aquisição e reconstrução. Está organizado em torno de um núcleo central (**Host Server**) desenvolvido pelo INESC [9] onde estão armazenados os dados comuns aos vários módulos e de onde emanam os comandos que definem a sequência de operação. Dada a modularidade da arquitectura, só os elementos do núcleo são necessários a todos os modos de operação. A estrutura versátil proporciona muitas possibilidades de operação: a aquisição sem reconstrução, ou vice-versa; navegação sem aquisição ou aquisição sem navegar deslocando o robot manualmente - na presença de escadas, por exemplo.

Para cada ponto de aquisição, e estando todos os módulos activos, a sequência de tarefas é a seguinte:

- 1 **Localização** (Localisation, 3D Acquisition, P&T controller)

- 2 **Aquisição 3D com Laser** (3D Acquisition, P&T Controller e Tower Controller)
- 3 **Aquisição Video** (Video Acquisition, P&T Controller e Tower Controller)
- 4 **Reconstrução 3D** (3D Single Reconstr., Registration e 3D Composite Reconstr.)
- 5 **Inserção de Texturas** (Texture Mapping)
- 6 **Cálculo do próximo ponto de aquisição** (Perception Planning e Path Planning)
- 7 **Movimento até ao novo ponto** (só no AEST) (Navigation Manager, Mobile Robot Communication Interface)

A localização (IST [5]) é o primeiro passo a efectuar em cada iteração pois permite ao AEST calcular com rigor a sua orientação e posição no espaço a reconstruir. Como não existem referenciais externos, as medidas referem-se ao sistema de coordenadas do modelo reconstruído. A localização efectua-se a partir de um varrimento horizontal com o laser que reproduz um corte horizontal do ambiente.

A operação seguinte consiste na aquisição dos dados: extrai-se uma imagem laser de distância (Fig. 16) e reflectância (Fig. 17) correspondente a um ângulo sólido determinado. Este ângulo é característico de cada tipo de laser; contudo o programa de aquisição é comum a todos os lasers, havendo apenas que definir no início da sessão qual o tipo de laser presente.

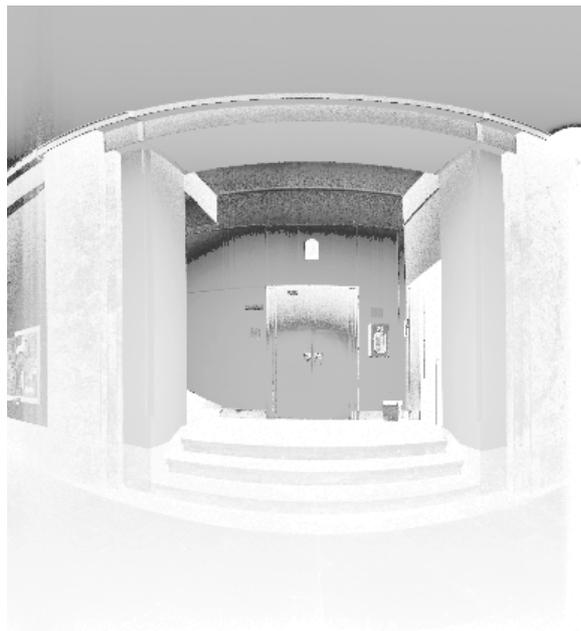


Fig. 16 - Medidas de profundidade (mais escuro significa maior distância)



Fig. 17 - Imagem de Reflectância laser

Seguidamente adquire-se as imagens de video correspondentes ao ângulo sólido coberto pelo laser.

Sempre que se utiliza as câmaras laser ou video recorre-se a dois módulos adicionais: P&T Controller, para o movimento da cabeça articulada (ver Fig. 11) e, eventualmente, o controlador da torre vertical para subir e descer a cabeça com sensor de aquisição (ver AEST na Fig. 4).

A fase seguinte corresponde às ferramentas principais de reconstrução desenvolvidas no JRC [6] e [7]. A operação do conjunto é complexa mas pode dizer-se em resumo que primeiro se faz a reconstrução da secção do modelo abrangida pelo ângulo sólido varrido pelo laser (**Single Reconstruction**). De seguida, regista-se os dois modelos, i.e, liga-se o sistema de coordenadas desta secção ao modelo reconstruído pré-existente (**Registration**). Finalmente expande-se as superfícies do modelo resultante e optimiza-se a representação em triângulos elementares (Fig. 18)

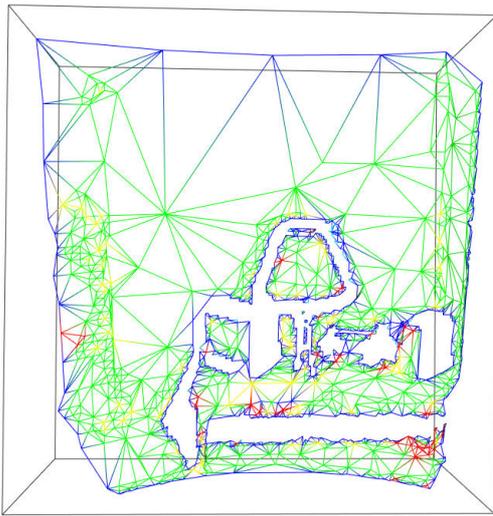


Fig. 18 - Triangulação de superfícies

Para completar o modelo, as texturas são registadas automaticamente com o modelo espacial baseado nas medidas de distância laser. Este módulo, criado na Univer. de Leeds [3.5] requer uma calibração aturada entre as duas câmaras e torna-se extremamente complexo pela necessidade de optimização da representação das texturas, fusão de texturas tomadas de pontos diferentes em especial na presença de graus de iluminação desiguais que afectam o brilho relativo das imagens. Na apresenta-se um pormenor de um modelo já texturado onde o problema da mudança de luminosidade é patente.



Fig. 19 - Modelo texturado

Quando o modelo 3D está completo, pode passar-se ao cálculo do próximo ponto de aquisição (**Perception Planning**). Esta cálculo pode ser feito de forma automática ou manual. No primeiro caso, o programa determina as áreas ocultas e procura calcular o ponto onde eliminará a maior área de oclusões. Em modo manual, o utilizador pode escolher o ponto de aquisição que entender e dá as instruções ao robot a partir do interface (Fig. 15).

Finalmente, quando o próximo ponto de aquisição é conhecido é calculado um caminho suave até lá (**Path Planning**) e o robot entra

em modo de navegação autónoma (**Navigation Manager**). Este algoritmos foram desenvolvidos no IST [1]. Quando este ponto é atingido o ciclo repete-se.

Todos os módulos referidos comunicam com o núcleo central e directamente através de um conjunto de mensagens definidas, que partilham uma sintaxe comum. Caso seja necessário alterar um módulo, é provável que os outros módulos não sejam afectados. Paralelamente, se forem adicionadas novas funções será necessário alterar apenas os módulos envolvidos e definir o conjunto de mensagens adicionais relacionadas com as novas funções.

Este tipo de estrutura convém particularmente a um consórcio como o RESOLV onde o mesmo esqueleto de programa é usado em contextos diferentes e cada um dos módulos pode ser usado noutras aplicações após uma mudança de interface.

## 5. O ESTADO ACTUAL, DESAFIOS E INICIATIVAS FUTURAS

Do que atrás ficou exposto pode concluir-se da validade dos conceitos e abordagens do projecto RESOLV. Os resultados actuais satisfazem os pressupostos iniciais do projecto, tanto na qualidade dos modelos reconstruídos como na eficácia e precisão do processo de reconstrução.

Contudo, como as expectativas dos utilizadores subiram entretanto, o que torna os resultados actuais insatisfatórios sobretudo em questões de aparência e completude dos modelos.

No estado actual, as principais dificuldades na criação de modelos são as seguintes: 1) os vidros e espelhos que falseiam ou anulam as medidas do laser, 2) superfícies metálicas que induzem padrões de erro irregulares nas medidas laser, 3) superfícies escuras ou materiais pouco reflectivos tais como cortinas ou tecidos, 4) cenas com elementos demasiado pequenos, tais como plantas de interior, pequenos objectos sobre as mesas, elementos decorativos demasiado detalhados e 5) zonas inacessíveis aos sensores de aquisição que impedem a reconstrução de algumas superfícies.

As dificuldades atrás expostas impedem a reconstrução completa do modelo tridimensional. Algumas delas serão minoradas pela melhoria da qualidade das câmaras laser. Todavia, para colmatar as falhas restantes falhas, pode usar-se um modelo CAD das superfícies em falta, tal como

na Fig. 8. Outras dificuldades decorrem de não se fazerem pressupostos especiais sobre os ambientes. Se, por exemplo, se assumisse que o chão dos modelos é plano os modelos seriam mais suaves e agradáveis à vista mas por outro lado corria-se o risco de incluir no chão os pequenos objectos que nele se encontrem, como tapetes, fichas eléctricas, etc. Entretanto, a solução com máxima generalidade permite que todas estas restrições ao modelo sejam feitas em pós-processamento de acordo com o contexto e as aplicações particulares.

O processamento de texturas envolve ainda alguns problemas em aberto, em particular na igualização do brilho ao longo das superfícies maiores e na representação de alta qualidade das superfícies planas. Imagine-se o modelo de um museu. Se todo o museu fôr representado com o máximo detalhe (muito alta resolução) os modelos tornam-se inacessíveis aos computadores correntes. Daí que se reduza a qualidade da triangulação das superfícies para que o modelo possa ser visitado em tempo real pelo máximo número de pessoas. Ao mesmo tempo, o utilizador quer ver a reprodução das obras de arte - pintura por exemplo - com o máximo detalhe; neste caso é imprescindível aumentar a resolução. A solução passa pela conjugação de modelos com graus de pormenor diferentes de acordo com a relevância do conteúdo.

Um terceiro tipo de problemas decorre do ritmo de evolução tecnológica. Sendo certo que a técnica evolui a um ritmo notável, há indícios que as expectativas dos utilizadores evoluem ainda mais depressa, estimuladas sobretudo pelos jogos e filmes realizados com apoio de grandes recursos computacionais. Após ver todos esses prodígios, o utilizador pode ficar desiludido com as imperfeições dos modelos da realidade obtidos segundo a abordagem do RESOLV, esquecendo que a realidade é muito mais complexa, densa de pormenores e difícil de modelizar do que qualquer modelo CAD. Em contrapartida, os modelos reconstruídos RESOLV têm um grau de familiaridade e riqueza de pormenores que ultrapassam a generalidade dos modelos CAD.

As perspectivas de futuro nesta área são entusiasmantes. Todos os anos surgem novas câmaras laser, substancialmente melhoradas em relação às gerações anteriores; o poder de cálculo vai aumentando continuamente, o que permite trabalhar com modelos cada vez mais ricos.

As novas aplicações dependem apenas da imaginação: há quem pretenda vender casas

com base em modelos 3D, outros que estão interessados em reproduzir as grutas de Lascaux, em França, etc. Outra linha de evolução trabalha na miniaturização dos sistemas de aquisição e talvez daqui a uns anos, a cabeça de sensores (Fig. 11) esteja reduzida a algo do tamanho de uma lanterna, ligada a um portátil instalado às costas do operador, que se desloca no ambiente real e olha simultaneamente o ambiente reconstruído com apoio de um capacete de Realidade Virtual.

## REFERÊNCIAS

### [1] LISTA DOS PARCEIROS RESOLV

European Commission **Joint Research Center**,  
em Ispra(VA), Italia.

<http://www.jrc.it/sba>

**University of Leeds**, Leeds, Reino Unido.

<http://scs.leeds.ac.uk/resolv>

**RoboSoft SA**, Biarritz, França.

<http://www.robosoft.fr>

**Instituto Superior Técnico**, Lisboa, Portugal.

<http://lrm.isr.ist.utl.pt>

Até Junho de 1998

**BICC Plc.**, Reino Unido

<http://www.bicc.com>

**INESC Instituto de Engenharia de Sistemas e Computadores**, Lisboa, Portugal.

<http://www.inesc.pt/>

Desde Junho de 1998

**VERS Associates**, Reino Unido

<http://www.vers.co.uk>

**ZGDV Zentrum für Graphische Datenverarbeitung**

em Darmstadt, Alemanha.

<http://www.zgdv.de/www/zgdv>

### [2] ESPAÇOS RESOLV NA INTERNET

Espaço principal na Univ. of Leeds

<http://www.scs.leeds.ac.uk/resolv>

Espaço no ISR/IST

<http://lrm.isr.ist.utl.pt/projects/resolv>

Espaço na RoboSoft, SA

<http://www.robosoft.fr/FICHES/CRESOLV.html>

## PUBLICAÇÕES CIENTÍFICAS

- [3] Castro, J., Vítor Santos, M. Isabel Ribeiro, *A Multi-Loop Robust Navigation Architecture for Mobile Robots*. In Proceedings ICRA'98 - IEEE Int. Conference on Robotics and Automation, Leuven, Belgium.
- [4] Gil, Pedro, João Pereira, Francisco Martinho Lopes, *A Human-Computer Interface for a Robotic System*, Proceedings 4<sup>th</sup> International Conference on Virtual Systems and Multimedia (VSMM'98), FutureFusion: Application Realities for the Virtual Age, Gifu, Japan, 18-20 November 1998.
- [5] Gomes-Mota, J., M. Isabel Ribeiro, "A Multi-Layer Robot Localisation Solution using a Laser Scanner on Reconstructed 3D Models", Proceedings 6<sup>th</sup> Symposium on Intelligent Robotic Systems, July 1998, Edinburgh, United Kingdom.
- [6] Sequeira, V. (1996a), J.G.M. Gonçalves, M. I. Ribeiro, *Active View Selection for Efficient 3D Scene Reconstruction*, Proceedings ICPR'96 - 13<sup>th</sup> Int. Conference on Pattern Recognition, pp. 815-819. Vienna, Austria.
- [7] Sequeira, V. (1996b), J.G.M. Gonçalves, M.I. Ribeiro, *3D Reconstruction of Indoor Environments*, Proceedings ICIP'96 - Int. Conference on Imaging Processing, pp.405-408. Lausanne, Switzerland.
- [8] Sequeira, V., K. C. Ng, S. Butterfield, J.G.M. Gonçalves, D.C. Hogg (1998), *Three-dimensional textured models of indoor scenes from composite range and video images*, In R.N. Ellson and J.H. Nurre, editors, Proceedings SPIE, Three-Dimensional Image Capture and Applications, vol. 3313, 1998.
- [9] Martinho, Francisco, Pedro Gil, João Pereira. *Client/Server Software Architecture for a Robotic System*, Proceedings 3<sup>rd</sup> Portuguese Conference on Automatic Control CONTROL'98, Coimbra, Portugal, September 1998.
- [11] O *site* do programa Mars Pathfinder contém extensas informações sobre a robótica envolvida na sonda e no veículo terrestre Sojourner. Ver <http://mars.jpl.nasa.gov>
- [12] The VRML Consortium, <http://www.vrml.org>, define as normas da linguagem VRML.
- [13] CosmoPlayer (<http://www.cosmosoftware.com>) é um bom exemplo de interpretador de VRML.
- [14] O Oceanário Virtual é um projecto do Centro de Computação Gráfica da Universidade de Coimbra, realizado em conjunto com o ZGDV. <http://www.ccg.uc.pt/projectos/virtual/oceanario.html>
- [15] Acuity Research Inc. Fabricante de câmaras laser. <http://www.acuityresearch.com>
- [16] Riegl, GmbH. Fabricante de câmaras laser. <http://www.riegl.co.at>

## AGRADECIMENTOS

O trabalho descrito neste artigo resulta do esforço conjunto de todos os membros do projecto RESOLV aos quais os autores agradecem:

David Leever (VERS); João G.M. Gonçalves, Vítor Sequeira, Erik Wolfart (JRC); David Hogg, Kia C. Ng, Stuart Butterfield (Univ. of Leeds); João Pereira, Francisco Martinho Lopes, Pedro Gil (INESC); Vicent Dupourqué (RoboSoft); Dirk Reiners (ZGDV), José Castro e Vítor Santos (IST).

## OUTRAS REFERÊNCIAS

- [10] Lego MindStorms é uma colecção de LEGO técnico para pais e crianças a partir dos 12 anos. Ver <http://www.legomindstorms.com>