

# Um sistema para visualização remota de operações de instalação submarina

Alberto Raposo<sup>1</sup>, Cesar M. Palomo<sup>1</sup>, Ismael Santos<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Tecgraf, Dept. of Informatics  
PUC-RJ, Brazil

<sup>2</sup> CENPES - Petrobras Research Center, Brazil

{abraposo, cpalomo, ismael} @tecgraf.puc-rio.br

## Abstract

The idea of digital oilfields, i.e., with unmanned exploration unities, is a strong trend in the oil & gas industry, since the access to remote sites is expensive and dangerous, and, in addition, the optimization of the production is a necessity due to the constant increasing costs. The vision of digital oilfields is roughly an interplay of several technologies that provides resources for gathering raw data, transmitting this information, transforming it into knowledge (for decision making), and remotely operating it. This paper presents a system called VROIS (Portuguese acronym for Remote Visualization of Subsea Installation Operations). The system goal is to allow that specialists in the company headquarters, using Computer Graphics and Virtual Reality resources, follow subsea operations in “extended real time” using a computational environment that facilitates the comprehension of the operation and allow better decision making.

## Resumo

A idéia de campos de petróleo digitais, i.e., com unidades de exploração não tripuladas, é uma forte tendência na indústria de petróleo, pois o acesso a locais remotos é caro e envolve riscos, e além disso a otimização da produção é uma necessidade, devido à constante elevação de custos. A visão dos campos de petróleo digitais é basicamente a integração de várias tecnologias com recursos para obtenção de dados brutos, transmissão da informação, transformação dessa informação em conhecimento (para tomada de decisão), e operação

remota. Este artigo apresenta um sistema chamado VROIS (Visualização Remota de Operações de Instalação Submarina). O objetivo do sistema é permitir que especialistas na sede da empresa acompanhem, utilizando recursos de Computação Gráfica e Realidade Virtual, operações submarinas em “tempo real estendido” usando um ambiente computacional que facilita a compreensão da operação e permite melhores tomadas de decisão.

## 1. Introdução

Os campos de petróleo digitais (ou campos inteligentes) envolvem um grande número de tecnologias integradas, que podem ser divididas em quatro grandes categorias: obtenção de dados brutos (sensoreamento); transmissão dos dados; transformação dos dados em conhecimento para a tomada de decisões; tele-operação (Figura 1).



Figura 1. Ilustração das tecnologias envolvidas em campos inteligentes

Nos extremos opostos dos campos inteligentes estão as tecnologias para monitoramento remoto

e tele-operação. O monitoramento de condições e desempenho gera uma quantidade muito grande de dados que devem ser transmitidos para a sede. Com a capacidade atual das tecnologias de monitoramento, é possível gerar mais de um Terabyte de dado bruto por dia. Portanto, mais do que simplesmente transmitir dados brutos, a infra-estrutura de monitoramento deve ser capaz de detectar automaticamente falhas e padrões anormais, gerando os alarmes necessários, além de preparar os dados para transmitir informação útil [1]. No outro extremo, tecnologias de tele-robótica complementam e estendem a capacidade humana de inspeção e intervenção [2].

Os esforços em direção aos campos inteligentes estão começando a apresentar resultados e, igualmente importante, a identificar os desafios que demandarão maiores pesquisas. O sistema apresentado neste artigo, o VROIS (Visualização Remota de Operações de Instalação Submarina), é um exemplo de projeto que se enquadra na visão de longo prazo dos campos inteligentes. O objetivo do VROIS é permitir que o usuário acompanhe em “tempo-real” operações submarinas em um ambiente computacional que propicie um aumento da compreensão da operação, permitindo decisões mais bem fundamentadas. O VROIS utiliza recursos de Computação Gráfica e Realidade Virtual para dar uma melhor visão espacial do que está ocorrendo durante uma operação de instalação submarina, visto que as imagens reais obtidas por meio de câmeras submarinas instaladas em rovs (*Remotely Operated Vehicles*) têm, em geral, campo de visão bastante limitado e imagens com baixa nitidez. Com a visão espacial “aumentada” pelo cenário virtual, grupos de especialistas em diferentes locais podem discutir a operação por meio de uma ferramenta de videoconferência integrada ao sistema.

Na seção seguinte serão apresentados alguns trabalhos relacionados. Na Seção 3 o VROIS será descrito, mostrando dois exemplos de sua utilização: lançamento pendular de *manifold* e simulação do robô TA-40. A Seção 4 apresenta as conclusões e trabalhos futuros.

## 2. Trabalhos relacionados

A visão da IBM sobre campos digitais se baseia em cinco componentes-chave, em um fluxo que visa transformar dados em conhecimento.

Partindo dos dados para o conhecimento, os componentes são: coleta e controle de dados; gerenciamento de dados; integração de sistemas e aplicações; otimização do workflow; colaboração entre pessoas [1].

Na visão da CISCO, uma companhia virtual minimiza ou elimina os obstáculos criados pela distância, localização e tempo [3]. A visão é baseada no modelo 3c [4], [5], alegando que é necessário estabelecer infraestruturas efetivas de cooperação, comunicação e coordenação, reinventando a cultura organizacional de forma a valorizar os 3cs.

Com uma visão mais próxima do contexto do VROIS, a ABB (Asea Brown Boveri) lidera um consórcio criado pela Statoil, para o projeto Integrated Operations. O termo “operações integradas” é definido como colaboração entre disciplinas, cruzando fronteiras organizacionais e geográficas, que se torna possível graças a novos processos de trabalho e obtenção de dados em tempo real para se chegar mais rapidamente a melhores e mais seguras decisões [2]. O projeto contempla subprojetos nas áreas de sensoreamento, infra-estrutura de transmissão, suporte a decisões, robótica e visualização colaborativa (contexto onde se encaixa o VROIS).

A visualização colaborativa já é uma tendência consolidada na área de visualização científica [6], e é entendida como colaboração pelo lado humano (i.e., pessoas trabalhando juntas para interpretar uma visualização), e não apenas pelo lado sistêmico (e.g., visualização gerada a partir de dados distribuídos) [7]. O VROIS, embora não lide com resultados de simulações científicas, mas com informações de posicionamento de objetos, se enquadra tanto na categoria de sistema de visualização colaborativo quanto na de sistema de visualização distribuído, i.e., ele tem ao mesmo tempo colaboração humana e sistêmica. Isso porque o VROIS, integrado a um sistema de videoconferência, permite que usuários geograficamente distribuídos compartilhem imagens, interajam e cooperem a partir de dados remotos (sensores de posicionamento dos equipamentos).

## 3. VROIS

O VROIS é parte de uma iniciativa para estudar e propor soluções para operações de instalação, inspeção e manutenção de equipamentos submarinos. O objetivo é prover um sistema

gráfico em Realidade Virtual, embora possa ser usado em sistemas de desktop convencionais sem qualquer recurso especial, para a simulação e acompanhamento em tempo real dessas operações, utilizando modelos reais dos equipamentos submarinos, dos robôs e das ferramentas utilizadas.

O VROIS tem como objetivo permitir que o usuário acompanhe em “tempo-real” o processo de instalação submarina em um ambiente computacional que propicie um aumento da compreensão da operação. Adicionalmente, numa etapa posterior à operação, é possível reproduzi-la interagindo com dados gerados em campo ou com dados gerados em alguma simulação numérica do processo de instalação. Controles de animação permitem que o usuário avance, retroceda e altere a velocidade da animação; isto é importante porque muitas vezes a operação pode durar horas. A manipulação da câmera virtual é feita de forma simples e direta. Usando apenas o mouse, é possível visualizar o modelo de diferentes ângulos e distâncias.

O sistema está dividido em duas partes. A primeira delas é o sistema geral, envolvendo

vários tipos de operações submarinas, como por exemplo, o caso do lançamento pendular de manifold, que será apresentado posteriormente. A segunda parte do projeto é voltada especificamente para as operações realizadas com robôs (VROBÔ).

Em ambos os casos a idéia é, além das imagens reais das câmeras, a operação poder ser vista no cenário virtual, o que permite um melhor acompanhamento do processo, dada a possibilidade de se ter diferentes ângulos de visão. No caso do robô, especificamente, o modelo dinâmico do robô pretende ser usado em etapa de treinamento da operação, para determinação da trajetória ideal do braço robótico, livre de colisões.

### 3.1. Características do sistema

O VROIS foi implementado segundo uma arquitetura peer-to-peer onde um dos peers, localizado no navio ou plataforma de lançamento do objeto a ser rastreado, se encarrega de fazer a leitura dos dados enviados pelo Sistema de Controle provenientes do SMM (Sistema de Monitoramento de Movimentos) submarino e transmitidos através de modem

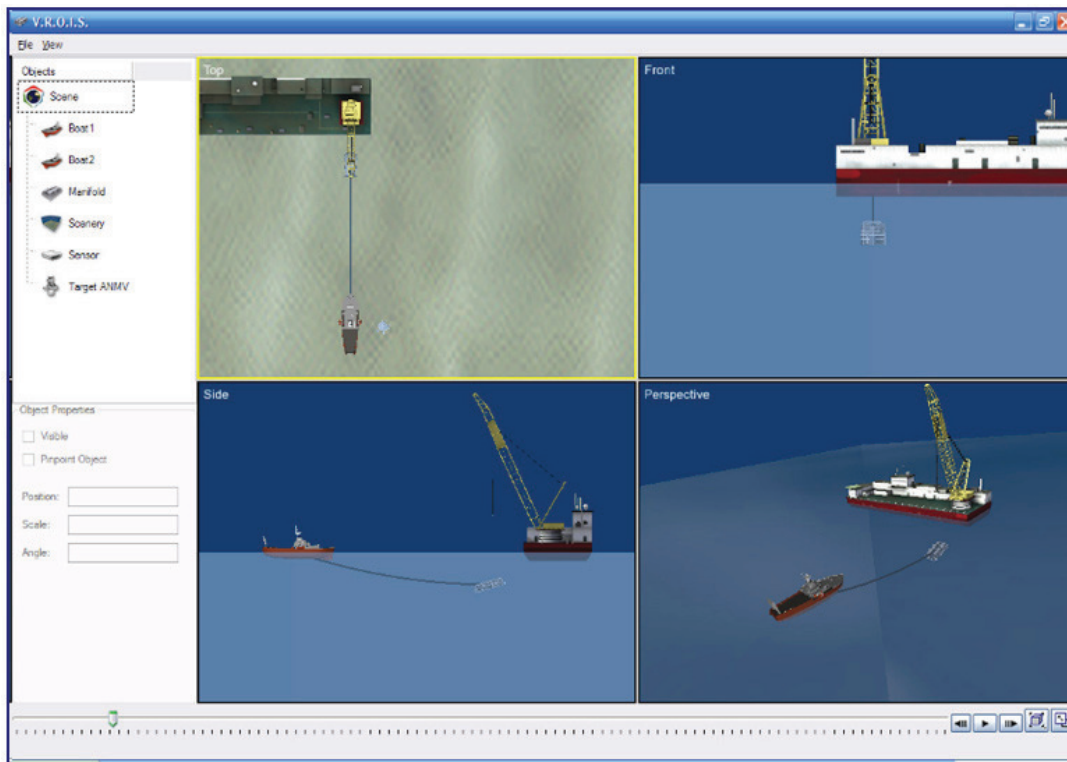


Figura 2. Interface do VROIS

acústico, permitindo a atualização do modelo e, conseqüentemente, a visualização em tempo real da trajetória do móvel sendo rastreado. A visualização é interativa, de modo que a posição da câmera virtual pode ser alterada, focalizando o cenário de diferentes posições, exibindo os modelos em três vistas ortográficas e uma vista em perspectiva, cada uma podendo ser exibida em tela-cheia ou ter suas dimensões alteradas individualmente (Figura 2). Para dar mais realismo e melhorar a percepção de profundidade na cena pode-se selecionar a geração de imagens estereoscópicas. Existe também a opção de manter cada vista focada no objeto rastreado, mantendo-o centralizado dentro da vista permitindo que os seus movimentos sejam acompanhados em detalhe.

Para permitir a visualização à distância, os dados recebidos pela instância (*peer*) do vROIS localizada na embarcação de lançamento podem ser transmitidos via rede para um ou mais instâncias do vROIS localizadas em locais de observação remotos, em geral salas de visualização dotadas de ambientes de projeção imersivos. Isso permite que a operação seja acompanhada remotamente por técnicos em “tempo real”, descontadas as latências do modem acústico e da transmissão via rede, o que usualmente denomina-se de “tempo real estendido”. Embora a latência do modem acústico possa ser de alguns segundos, pois a velocidade de propagação do som na água é de 1500 m/s, ela não é muito significativa para o acompanhamento da operação, que pode durar de vários minutos até algumas horas.

Através da construção prévia do cenário da operação e dos dados dos sensores de posição obtidos, cada *peer* é capaz de criar um espaço virtual reproduzindo com boa fidelidade o cenário real da operação. Futuramente recursos de video streaming serão incorporados ao vROIS para permitir a exibição das imagens das câmeras submarinas sendo gravadas durante a operação de instalação simultaneamente ao cenário virtual.

A interface gráfica do vROIS foi desenvolvida com a biblioteca gráfica Qt 4.3.1 [8]. Para o carregamento e visualização dos cenários virtuais de operações submarinas foi usada a biblioteca de grafo de cena OpenSceneGraph 2.4 [9]. Desse modo os ambientes virtuais podem ser desenhados em ferramentas CAD e posteriormente carregados para visualização

da operação com os dados de posição e atitude transmitidos remotamente. Além disso, como já citado, é possível o acompanhamento da operação do ponto de vista focado em algum objeto em especial, e também o avanço e retrocesso da operação para algum ponto de interesse, dado que muitas operações tendem a levar horas para serem concluídas.

### 3.2. Lançamento pendular de *manifold*

Como primeiro caso de uso do vROIS surgiu a necessidade de visualização dos resultados de uma operação de lançamento pendular de um *manifold* [10]. No método de instalação pendular, uma embarcação de instalação é mantida na vertical da locação de instalação. Uma balsa guindaste transporta o equipamento a ser instalado e se posiciona a uma distância da embarcação de instalação correspondente à profundidade local. O cabo de instalação passado à balsa é ligeiramente menor que a profundidade local para permitir que ao final do lançamento o *manifold* fique acima do piso marinho de forma que a sua posição e atitude final possa ser ajustada pela embarcação de instalação. O guindaste da balsa então corta a conexão com o cabo, e o equipamento cai em queda livre até que o cabo de instalação seja tensionado, resultando em um movimento pendular. Após ajustes finais de posição e atitude, a embarcação de instalação libera a quantidade de cabo adicional para o assentamento no piso marinho (Figura 3).

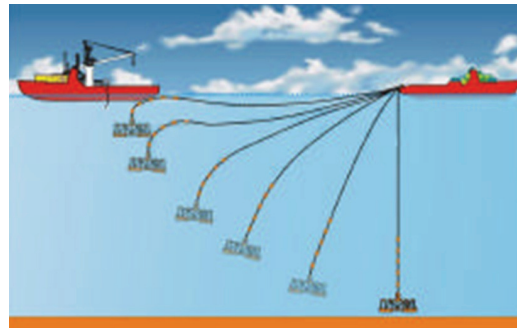


Figura 3. Ilustração do lançamento pendular de *manifold*

Para a criação do cenário virtual, os principais equipamentos, em especial o equipamento sendo instalado (*manifold*), foram modelados geometricamente a partir do modelo CAD e de fotos tiradas do equipamento real (Figura 4). O vROIS permite também a customização da cena de acordo com os interesses do usuário,



permitindo a alteração dos atributos de visibilidade, posição, escala e orientação (*Yaw*, *Pitch* e *Roll*) de cada objeto da cena. Além disso, cada objeto pode ser destacado com um “alvo” desenhado sobre o objeto, para facilitar sua identificação e localização na cena durante a operação. Para facilitar a reprodução da análise realizada, o *vrois* permite a gravação de vídeos de suas janelas ativas.



**Figura 4.** *Manifold* na balsa de lançamento (em cima) e modelo virtual (embaixo)

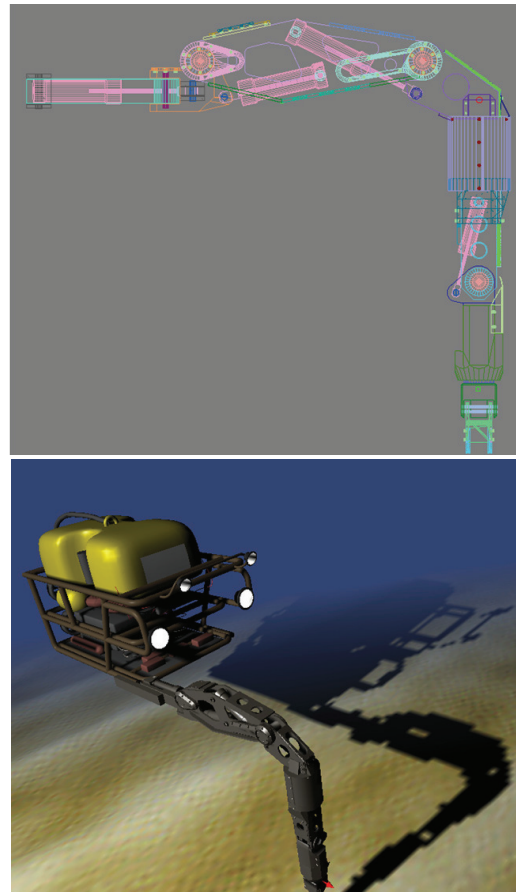
Os dados de posicionamento do equipamento durante a operação são transmitidos à balsa via modem acústico, e retransmitidos aos peers, que realizam a renderização das imagens localmente. Os dados de posição e atitude enviados pelo SMM precisam ser processados pelo *vrois*. O processamento consiste na transformação das posições inerciais para o datum adotado pela Petrobras (sistema de referência usado para o cálculo de coordenadas de pontos na superfície da Terra) e na projeção UTM, correção da trajetória baseada nas posições absolutas de superfície e acústicas, e correção dos referenciais de atitude, quando necessário. Após o lançamento, o arquivo texto com os dados passados pelo SMM pode ser usado para revisão do processo.

Foram realizados dois testes de campo com lançamentos de *dummy manifolds*. No primeiro, o sistema de visualização distribuída ainda não estava implementado, de modo que só foi realizada a visualização *a posteriori*. No segundo

teste, o sistema estava pronto e testado, mas uma falha na transmissão do modem acústico impediu a visualização em “tempo-real”, de modo que a visualização foi usada novamente apenas para análise *a posteriori*.

### 3.3. VROBÔ

O *vrobô* é uma extensão do *vrois* para operações envolvendo um robô específico para operações submarinas, o TA-40 [11]. A partir de medidas tomadas diretamente do robô real, foi feito o desenho do modelo em CAD que resultou em uma maquete eletrônica com 51.174 polígonos. O protótipo do visualizador foi desenvolvido, permitindo visualizar o modelo, conferir o estado das articulações e transformar entradas do usuário em manipulação do robô por cinemática direta, inversa e dinâmica direta. A visualização foi aprimorada, adicionando-se um algoritmo para a geração de sombra para aumentar a noção de profundidade por parte do operador do sistema (Figura 5).



**Figura 5.** Modelo do TA-40 desenhado em CAD (em cima) e visualizado no *VROBÔ* (embaixo)

O visualizador está pronto para receber entradas de controle do robô. Tanto a modelagem cinemática inversa quanto a dinâmica a partir da cinemática foram incorporadas de forma a permitir que sejam interpretadas as entradas de comando do robô. Foi implementado o suporte a dois dispositivos de entrada com 6 graus de liberdade para manipulação do robô: *Spaceball* e *Flock of Birds*. Com esses dispositivos, o movimento do usuário é transmitido para o robô virtual, para realizar a simulação e treinamento da operação. O vROBô ainda não está preparado para controlar o robô real em campo, mas, da mesma forma que o vROIS, pode ser usado para acompanhar remotamente uma operação com o TA-40, desde que haja um sensor indicando a posição da extremidade do robô real.

A simulação dinâmica do robô foi implementada inicialmente com o PhysX, uma engine de cálculos físicos para jogos [12]. Após numerosos testes, o PhysX mostrou instabilidades não aceitáveis para a proposta do vROBô. Essas instabilidades decorrem das simplificações feitas pelo PhysX para que ele possa atender os requisitos de funcionamento em tempo real exigidos pelos jogos de ação.

Em virtude dos problemas com o PhysX, optou-se pelo desenvolvimento de um modelo físico para o TA-40. Este modelo foi desenvolvido pelo Departamento de Eng. Mecânica / PUC-RJ em Matlab para simular o comportamento dinâmico do TA-40 levando em consideração peso, gravidade, inércia, torque máximo de cada articulação, colisões com o ambiente, atrito viscoso e efeito da corrente marinha. As rotinas do Matlab foram traduzidas para C++ e utilizadas em conjunto com bibliotecas adicionais para operações com matrizes e para tratamento de colisões.

O modelo dinâmico do robô desenvolvido em Matlab é baseado no método Newmark Beta [13] de integração numérica, envolvendo muitos cálculos com matrizes. Para manter a eficiência destes cálculos ao ser feita a conversão para C++, foi utilizada a biblioteca Boost 1.33.1 [14] para manipulações gerais das matrizes, e auxiliariamente foi usada a biblioteca *rcL Lite 1.13* [15] para inversão de matrizes de grandes dimensões. Já para a detecção de colisão entre o robô e os objetos do ambiente foi usada a biblioteca *Bullet 2.66* [16].

Desse modo, ao se utilizar o modelo dinâmico, é

possível simular a operação do robô e visualizar as colisões do robô com o ambiente, bem como o movimento do robô ao ocorrerem estas colisões. Já as versões de cinemática inversa e dinâmica a partir da cinemática são somente capazes de informar a existência de colisões, sem fornecer um feedback da trajetória do robô após o contato. Entretanto, em todos estes casos é possível ao operador do vROBô buscar uma trajetória livre de colisões, que pode ser gravada para posterior reprodução.

### 3.2. csvTool – videoconferência integrada

Para aumentar a eficiência da comunicação entre a equipe embarcada e as equipes acompanhando remotamente a operação de instalação, sem a necessidade de mantê-las presentes no local da instalação, o vROIS se utiliza também do csvTool [17], um sistema colaborativo focado na comunicação por áudio e videoconferência, que disponibiliza também recursos de cooperação (transmissão do desktop do usuário) e de coordenação (gerenciamento de múltiplas sessões, controle individual dos fluxos de áudio e vídeo transmitidos e recebidos por cada participante e definição de tipos de sessões). (Figura 6)

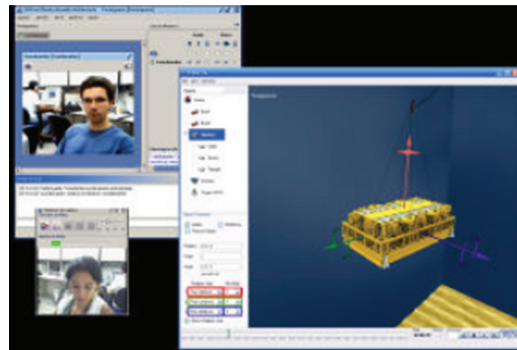


Figura 6. vROIS utilizado em conjunto com o csvTool

Dentre os principais requisitos de projeto do csvTool três aspectos merecem destaque. O primeiro diz respeito à capacidade de controle individual dos fluxos de áudio e vídeo sendo transmitidos e recebidos por cada participante como uma estratégia para minimizar as restrições de consumo de CPU e largura de banda, comuns a aplicações de videoconferência, as quais realizam a captura, o processamento e a transmissão, em tempo real, das mídias audiovisuais. O segundo item trata a questão da independência de plataforma. O csvTool oferece

suporte ao trabalho colaborativo baseado em mídias audiovisuais para diferentes plataformas, promovendo o gerenciamento de diferentes sessões de videoconferência multiusuário simultaneamente. A linguagem Java foi escolhida para o desenvolvimento do csvTool por ser uma linguagem multiplataforma e pela SUN disponibilizar uma biblioteca gratuita que oferece suporte a inserção de áudio e vídeo em aplicações Java, a API JMF (Java Media Framework) [18]. Essa API oferece uma camada de abstração a um conjunto de problemas, relacionados as mídias áudio e vídeo, encontrados no desenvolvimento do csvTool em algumas das plataformas alvo.

O terceiro requisito de projeto do csvTool, e o mais relevante no contexto do vROIS, aborda a questão da integração do csvTool a aplicações colaborativas, munindo essas ferramentas com um meio de colaboração adicional, através da exploração das mídias audiovisuais. A integração do csvTool a aplicações colaborativas é feita de forma suave, com prototipação rápida e a baixo custo, dado que não há a necessidade de aquisição de nenhum componente de *hardware* especial, sendo necessário apenas acoplar ao computador do usuário uma webcam, um microfone e caixas de som, o que atualmente corresponde a uma configuração bastante usual e acessível. Essa integração é implementada através de uma API em CORBA. Essa API foi utilizada inicialmente no desenvolvimento de um plugin colaborativo para o software Gocad (Geological Objects Computer Aided Design) [19], e agora utilizada para integrar o csvTool ao vROIS.

Com a integração do csvTool, o vROIS deixa de ser apenas um sistema de visualização distribuída, com usuários remotos visualizando a operação, mas também uma ferramenta de visualização colaborativa, pois os usuários podem interagir entre si durante o acompanhamento da operação submarina.

#### 4. Conclusões

O transporte e manutenção de pessoas em plataformas em alto mar são caros e arriscados, além da preservação do meio ambiente ser hoje uma preocupação essencial nas atividades de exploração e produção de petróleo. Graças aos avanços nas áreas de sensoriamento, robótica, redes, sistemas colaborativos e computação

gráfica, é possível vislumbrar, para um futuro não muito distante, a implementação dos campos digitais ou inteligentes, nos quais melhores decisões poderão ser tomadas, otimizando a produção e diminuindo os riscos para as pessoas e para o meio ambiente.

O vROIS é um sistema projetado dentro dessa visão de campos inteligentes, servindo como plataforma para as primeiras experimentações de acompanhamento remoto de operações submarinas. Os experimentos aqui apresentados, o lançamento pendular de manifold e a manipulação do TA-40, mostraram que, embora tecnicamente viável, ainda há restrições operacionais com relação ao sistema de navegação inercial, necessário para enviar a posição e atitude dos equipamentos móveis ao programa. O sistema de monitoramento é caro e não pode ser usado em todas as operações do dia a dia. Uma possibilidade a ser investigada na continuidade do vROIS é o uso de visão computacional para definir o posicionamento e atitude dos objetos. Porém, os desafios nessa área são muito grandes, pois os ambientes a serem rastreados não são controlados (i.e., não há como usar marcadores) e possuem o agravante das condições de baixa luminosidade e variável turbidez do fundo do mar.

A experiência com o vROIS, assim como outras similares, tem mostrado que o desafio dos campos inteligentes ainda demanda muita pesquisa, se tornando um campo bastante fértil para a área de sistemas colaborativos e demais áreas envolvidas.

#### 5. Agradecimentos

O projeto vROIS é financiado pela Petrobras, sob a coordenação de Heitor A. de Araújo Filho. Agradecemos também aos Profs. Marcelo Gattass, coordenador do Tecgraf e Hugo Fuks, coordenador do Groupware@LES, DI, PUC-RJ pelo constante apoio ao desenvolvimento deste trabalho. A pesquisa do Prof. Alberto Raposo é parcialmente financiada pelo projeto “Ambientes Virtuais Colaborativos Aplicados em Engenharia”, Edital Universal CNPQ, processo número 472967/2007-0.

#### 6. Referências

- [1] IBM. “The Intelligent oilfield: meeting the challenges of today’s oil and gas exploration and production industry”. Executive brief, 2006.

- [2] S. Vatland, P. Doyle, and T. M. Andersen. "Integrated operations: Creating the oil company of the future", *ABB Review*, 3/2007, pp. 72-75.
- [3] T. Wood. "The Promise of the Virtual Oil Company". CISCO Internet Business Solutions Group (IBSG) White Paper, 2007.
- [4] C. A. Ellis, S. J. Gibbs, and G. L. Rein. "Groupware - Some Issues and Experiences". *Communications of the ACM*, 34(1), 1991, pp. 38-58.
- [5] H. Fuks, A. B. Raposo et al. "The 3C Collaboration Model". *Encyclopedia of E-Collaboration*, Ned Kock (org), Information Science Reference, New York, 2008, pp. 637-644.
- [6] J. Wood, H. Wright, and K. Brodlie. "Collaborative Visualization". *Proceedings of the 8th IEEE Visualization Conference*, 1997, pp. 253-259.
- [7] K. W. Brodlie, D. Duce et al. "Distributed and Collaborative Visualization". *Computer Graphics Forum*, 23(2), 2004, pp. 223-251.
- [8] Qt Software. "Qt", 2009. <http://www.qtsoftware.com>
- [9] OpenSceneGraph, 2009. <http://www.openscenegraph.org>
- [10] R. Z. Machado Filho, I. H. F. Santos, H. A. Araujo Filho. "Monitoração e Visualização de Trajetória". *V Simpósio Brasileiro de Engenharia Inercial – SBEIN*, 2007.
- [11] Perry Slingsby Systems. "TA40 Manipulator", 2009. <http://www.perryslingsbysystems.com/download.cgi?id=1113>
- [12] NVIDIA. "NVIDIA PhysX", 2008. [http://www.nvidia.com/object/nvidia\\_physx.html](http://www.nvidia.com/object/nvidia_physx.html)
- [13] Nathan M. Newmark, *Newmark Beta Method*, 1959. <http://www.library.uiuc.edu/archives/archon/index.php?p=digitallibrary/digitalcontent&id=2998>
- [14] Boost C++ Libraries, "Basic Linear Algebra", 2009. [http://www.boost.org/doc/libs/1\\_37\\_0/libs/numeric/ublas/doc/index.htm](http://www.boost.org/doc/libs/1_37_0/libs/numeric/ublas/doc/index.htm)
- [15] TechSoft, "TCL Lite", 2009. <http://www.techsoftpl.com/matrix/matlite.htm>
- [16] Bullet Physics Library, 2009. <http://www.bulletphysics.com/>
- [17] C. T. Pozzer, L. S. Lima, A. B. Raposo, C. J. G. Vieira. "A Multi-user Videoconference-based Collaboration Tool: Design and Implementation Issues". *The 9th International Conference on CSCW in Design – CSCWD*, 2005, pp. 547-552.
- [18] Sun Microsystems. "Java Media Framework", 2003. <http://java.sun.com/products/java-media/>
- jmf
- [19] L. P. Reis, A. B. Raposo, J. C. Paul, F. Bosquet. "An architecture for collaborative geomodeling". *11th International Workshop on Groupware - CRIWG. Lecture Notes in Computer Science*, Vol. 3706 – *Groupware Design, Implementation, and Use*, 2005, pp. 121-136.