

ANÁLISE DE COLABORATIVIDADE USANDO TELEROBÓTICA

Claudinei Dias¹, Marcelo da Silva Hounsell², Roberto Silvio Ubertino Rosso Jr.³

Abstract — Collaborative work is a type of task execution that runs by splitting and generating interdependence among its constituent subtasks. A robot simulator environment is an interesting kind of application, known for save costs in equipment and team effort. Among its uses, remote operation is particularly useful in order to command robots remotely while handling hazardous materials (E.g. radioactive, explosive, etc). Due to the complexity of certain tasks, more than one operator may be required. This paper intends to discuss a simulated robotic environment focusing on the collaborative work execution. Each operator will be given its own perspective but, network communication between them is sure to exist. Such environment can be used for complex tasks team training or even for collaborative strategies development.

Keywords — Collaboration, Robotics, Telerobotics, Simulator.

INTRODUÇÃO

Os robôs se destacam em aplicações de manufaturas pelo seu alto grau de precisão, executam tarefas que são nocivos aos seres humanos. Sua utilização tem crescido nos últimos anos, em especial os robôs telecontrolados por proporcionar um ambiente de trabalho em que o controlador se encontra distante da tarefa.

Os sistemas de telerobótica apresentam a seguinte identificação [1]: Único Operador e Único Robô (SOSR), Único Operador e Múltiplos Robôs (SOMR), e Múltiplos Operadores e Múltiplos Robôs (MOMR). Nesse último, cada operador controla um braço do robô o qual, em alguns ambientes possuem espaços de sobreposição no cenário surgindo à necessidade de realização de tarefas colaborativas, o que proporciona um processo industrial eficiente e com segurança ao ser humano.

A utilização de RV na simulação de tarefas apresenta um método seguro, podendo ser aplicado em educação/treinamentos permitindo a configuração e simulação de tarefas o que admite obter rendimento na produtividade, aplicando comando em robôs em um ambiente seguro e administrável.

Simuladores telerobóticos baseados em rede de computadores são utilizados em aplicações industriais e em ambientes perigosos, proporcionando a interação do ser

humano com a ação dos robôs. Essas aplicações podem simular tarefas de alto risco, sem danificar equipamentos e sem trazer riscos a operadores.

Provê uma série de análises de tarefas, reduzindo o custo e otimizando os métodos de execução o que torna o sistema de montagem mais flexível e reconfigurável [2].

Este trabalho apresenta a proposta de um simulador de Telerobótica COLaborativa (TECO) contendo dois robôs manipuladores Scorbot ER-4PC [3] que está sendo desenvolvido baseado no simulador VirBot4u do LARVA (Laboratório de Realidade Virtual Aplicada) [4], com o objetivo de prover um ambiente virtual 3D onde a colaboração possa ser estudada e medida.

Inicialmente será apresentada uma introdução e a definição de telerobótica e de simuladores de telerobótica; a seguir é exposto o conceito de colaboração e apontada a diferença entre colaboração e cooperação; na seqüência é abordada a análise de colaboração; depois é descrito o ambiente de telerobótica colaborativa TECO. Finalmente, as conclusões e referências são apresentadas.

TELEROBÓTICA

Um robô é um manipulador re-programável com mecanismos que incluem vários graus de liberdade (DOF-degrees of freedom) projetados para mover objetos, ferramentas ou peças para realização de uma determinada tarefa [5]. É composto por elos e juntas. Seus movimentos podem ser por meio de atuadores pneumáticos (empregados quando o robô não necessita transportar uma grande carga), por atuadores hidráulicos (que aumentam o poder de carga) ou através de motores elétricos (sendo de mais fácil controle, porém necessita de redutores de velocidade) [6].

Alguns ambientes de manufatura necessitam de controle à distância na manipulação de objetos, para isto aplicações de telerobótica são utilizadas.

Telerobótica é a interação humana com a ação dos robôs, por comandos tele-controlados, ou seja, sem a presença do operador no local da tarefa [7]. Esta técnica é utilizada para manipular remotamente robôs que trabalham em ambientes perigosos ou que não são acessíveis ao operador [8].

A telerobótica pode ser útil em muitas áreas, tais como, em aplicações cirúrgicas, exploração espacial, manipulação

1 Claudinei Dias, Universidade do Estado de Santa Catarina, LARVA – Laboratório de Realidade Virtual Aplicada, Campus Universitário Professor Avelino Marcante S/N, Joinville, 890233-100, Joinville, SC, Brazil claudinei@cvj.sc.gov.br.

2 Marcelo da Silva Hounsell, Universidade do Estado de Santa Catarina, LARVA – Laboratório de Realidade Virtual Aplicada, Campus Universitário Professor Avelino Marcante S/N, Joinville, 890233-100, Joinville, SC, Brazil, marcelo@joinville.udesc.br

3 Roberto Silvio Ubertino Rosso Jr., Universidade do Estado de Santa Catarina, LARVA – Laboratório de Realidade Virtual Aplicada, Campus Universitário Professor Avelino Marcante S/N, Joinville, 890233-100, Joinville, SC, Brazil, rosso@joinville.udesc.br

de materiais nocivos, controle de tráfego, automação da manufatura, treinamentos, entre outras atividades [9].

Sistemas telerobóticos baseados na web têm sido utilizados em manufatura podendo possuir interação MOMR, envolvendo coordenação e colaboração entre os usuários e robôs, em ambientes que necessitam de intervenção humana, mas estas não podem ser executadas por seres humanos por razões como [10]:

- O espaço é de alto risco à saúde ou a sobrevivência humana. Exemplos: ambiente contendo produtos tóxicos, radioativos, exploração subterrânea, águas profundas;
- O transporte de seres humanos levaria muito tempo e custos. Exemplos: telecirurgias, exploração espacial;
- Tarefas com manipulação de objetos de tamanhos micro/macro que estão além da capacidade humana. Exemplos: guindastes, microcirurgias.

Deste modo, em ambientes de robótica tele-controlados, a comunicação pode ser através da rede local de computadores ou pela internet em que uma ou mais pessoas que estejam em regiões distantes possam controlar dispositivos robóticos, permitindo aos usuários a visualização e interação remota a qual pode ser aplicada através de simulador utilizando técnicas de Realidade Virtual [11].

Simuladores de Telerobótica

Para a realização de experimentos em telerobótica pode-se proceder de dois modos: aplicar comandos diretamente em um robô real; ou aplicar comandos em um robô simulado. Utilizar um robô real representa ter que parar sua produção para programá-lo ou para aplicar treinamento aos operadores. Já o uso de simulação traz benefícios para indústrias, por apresentar como vantagem o desenvolvimento da programação off-line, não ocorrendo risco de danificar o robô e não sendo necessárias manutenções no robô, diminuindo os custos dos materiais e equipamentos reais, além de poder ser utilizado com propósito didático o qual se mostra uma alternativa interessante por apresentar custo baixo, produtividade e acesso facilitado [5].

O uso de RV em robótica proporciona modelos que podem ser testados e medidos em condições que o operador não pode manipular ou que apresentam custos inviáveis se executadas em um ambiente real [11]. Por isso, a simulação representa uma opção de baixo custo para o treinamento e configuração de ambientes de produção, de modo que os problemas e erros podem ser identificados e ajustados no ambientes virtuais antes que sejam aplicados ao sistema real.

Um simulador telerobótico em ambiente 3D foi desenvolvido por [1] para executar uma tarefa em um espaço de trabalho comum com abordagem MOMR.

Assim, as tecnologias computacionais de Ambientes Virtuais Colaborativos (CVEs – Collaborative Virtual Environments) representam uma solução para simulação das

interações com objetos e com outros usuários remotamente [12]. A RV permite imersão, navegação e interação em um ambiente sintético 3D, utilizando canais multi-sensoriais [13], úteis para teste e qualidade dos processos.

COLABORAÇÃO

Em termos leigos, é comum confundir colaboração com cooperação, portanto, é pertinente definir a relação entre esses termos. A cooperação implica em trabalhar em conjunto, onde é feita a divisão de tarefas e cada integrante do grupo realiza uma parte da tarefa em comum individualmente e no final, são unidas as partes realizadas por cada integrante formando então o trabalho como um todo. Já o termo colaboração é definido como um trabalho em equipe, um processo de interação contínua, onde todos os membros do grupo trabalham para construir e desenvolver juntos determinado trabalho de forma coletiva [14].

Portanto, colaboração, vai muito além de um simples trabalho em grupo onde existe apenas uma parcela de contribuição de cada pessoa para o desenvolvimento do trabalho. Não é uma relação hierárquica, onde as coisas são impostas; mas uma relação entre pessoas que saibam ouvir, compartilhar tarefas e trabalhar unanimemente permitindo que haja uma constante interação entre os membros do grupo, visando o sucesso do projeto o qual permite obter a melhor solução decidida pelo grupo [14].

As atividades dependem parcialmente de ações/movimentações que só um pode fazer individualmente, mas também de ações que precisam que o outro ajude a realizá-las. Deste modo, as equipes devem desenvolver estratégias para a realização das tarefas ocorrendo num espaço compartilhado na manipulação de objetos. Neste ambiente não podem ocorrer conflitos e é importante que os colaboradores saibam o que está sendo feito e o que foi feito no contexto dos objetivos da tarefa [2].

Robôs cooperativos têm como ênfase executar tarefas parciais que formam um contexto global quando concluída, como exemplo uma linha de produção em que um produto passa por uma esteira e a cada fase um robô específico contribui parcialmente com a produção para, no final, estar completamente terminado.

Robôs colaborativos são aplicados em tarefas que não podem ser executadas por um único robô de modo satisfatório. Por exemplo, em [10] é abordado um ambiente com configuração MOMR para executar uma tarefa que tem como objetivo resolver um *Cubo Rubik's*, nesta experiência é necessário à contribuição de dois braços robóticos para concluir a tarefa, como existe interação em um espaço comum de trabalho para atingir resultado global esse ambiente representa uma tarefa colaborativa.

ANÁLISE DE COLABORAÇÃO

Para obter a colaboração o ambiente tem que possuir uma visualização comum entre os parceiros e uma forma de interação simples e intuitiva. A colaboração requer

planejamento, coordenação, controle e execução das tarefas mantendo a sincronização [15].

Através de métricas qualitativas e quantitativas é possível obter a análise de colaboração que é requerida para avaliar o sucesso e a qualidade da colaboração.

Serão apresentadas a seguir duas metodologias para a avaliação do grau de colaboratividade em sistemas. Estas metodologias ressaltam aspectos que devem ser considerados na composição de sistemas e tarefas que devem apresentar colaboratividade (e não só cooperação).

Portanto, são utilizados os conjuntos de caracterização das métricas de avaliação descritos em [14] e [15]. Com essas métricas pode-se efetuar a *Análise de Colaboratividade* (AC) no simulador TECO.

Na caracterização da tarefa encontram-se as seguintes variáveis:

Divisão de Tarefas

Essa característica será empregada para avaliar como se dá a divisão de tarefas no contexto global do ambiente, onde serão avaliadas nesse aspecto três variáveis.

Divisão feita por negociação - é decidido entre o grupo o que cada um vai realizar.

Trabalho conjunto - quando realizado em conjunto, todos os integrantes participam da execução da tarefa.

Faz sempre com consulta ao grupo ou não - quando o trabalho é feito com consulta ao grupo nada é realizado sem a opinião dos demais.

Objetivo

A dupla deve delinear seus objetivos, nesse aspecto duas características são avaliadas:

Objetivo da Equipe - quando é da equipe o objetivo é colaborativo e único em favor do grupo, podendo ser registrado, divulgado e/ou gerenciado o objetivo comum/maior da tarefa.

Procuram a melhor solução - a melhor solução é aquela decidida pelo grupo em um processo colaborativo, existindo vários cenários de soluções para a mesma tarefa, onde é escolhida a melhor.

Dinâmica da Tarefa

Essa variável indica como a tarefa é tratada pela dupla. Aqui duas características são avaliadas:

Operação única ou múltiplas operações - uma operação é uma subdivisão da tarefa maior. Uma tarefa com múltiplas operações é aquela dividida em fases/operações espaçadas no tempo. Já uma tarefa com operação única é aquela que restringe a ação em uma única sessão do grupo. Quando ocorre de forma única denota colaboração, ao passo que, múltipla denota cooperação.

Intensa operação mental - a operação é intensa e mental quando relacionada à sinergia do grupo com troca de idéias e reflexões constantes tentando resolver um problema.

Hierarquia

Negociada ou hierarquia imposta - na hierarquia negociada, é decidido dentro do grupo os papéis de cada um. Em contrapartida, em uma hierarquia imposta, os papéis dos membros são definidos por outrem.

Competência

As duas características a serem avaliadas são:

Competência variada - um grupo que valoriza (ou é composto de) indivíduos com competências variadas é um indicativo da colaboratividade, pois suscita não só a negociação e divergência, mas também respeito e coletividade.

Diferenças de opiniões - as diferenças de opiniões facilitam a contestação de opiniões, diferentes argumentações e divergências dentro do grupo.

Comunicação intragrupo

Constituída de duas características que abrangem:

Comunicação constante - na comunicação constante não há interrupção do diálogo, e está relacionada à dependência do indivíduo de estar sempre consultando o grupo de forma colaborativa. A comunicação de forma constante contribui para um processo colaborativo.

Comunicação síncrona ou assíncrona - na comunicação síncrona o diálogo é realizado em tempo real (*full duplex*), podendo ser constante ou inconstante, possuindo o atributo de interdependência; na comunicação assíncrona, o diálogo não acontece em tempo real, mas em tempo diferenciado (*half duplex*) e acontece somente de forma inconstante. A comunicação síncrona contribui para que uma tarefa seja realizada de forma colaborativa.

Estratégias

Cada usuário tem uma visão global do cenário e para resolver a tarefa tem que interagir diretamente com o outro usuário que se encontra conectado remotamente. Se a dupla é capaz de concluir a tarefa pode-se dizer que construíram um entendimento compartilhado do problema. A discussão da estratégia para resolver o problema ajuda a dupla a construir uma visão comum ou um modelo mental de seus objetivos e tarefas necessárias para resolvê-lo. Nesse contexto, a estratégia de colaboração é constituída pelas seguintes variáveis:

Solução da tarefa - estratégia utilizada pela dupla para resolver a tarefa de modo a solucionar o problema.

Eficiência da estratégia - o grau de qualidade da técnica aplicada para resolver a tarefa.

Explícita - definição apresentada de forma clara e compreensível da estratégia.

Manutenção da tarefa - a coerência, a dependência entre a dupla requer a manutenção da estratégia de toda a colaboração durante a tarefa.

Comunicação - comunicação entre a dupla durante a tarefa.

Esses cinco elementos utilizados de forma eficiente irão contribuir para resolver a tarefa obtendo o sucesso da estratégia de colaboração.

Coordenação

Se cada membro da dupla é capaz de entender como sua tarefa está relacionada com os objetivos global da dupla, então cada um pode antecipar suas ações, as quais exigem menos esforços e melhor coordenação. Devido a isso, a coordenação está relacionada com o trabalho. O procedimento de uma boa coordenação e uma estratégia compartilhada deve refletir-se em uma interação eficiente e se as ações aplicadas durante a tarefa são compreendidas, sucintas, precisas e oportunas, assim exigindo menos interações no decorrer dos trabalhos entre as duplas.

Revisão

Nas tarefas, o sucesso da dupla, depende do grau de capacidade de rever suas estratégias. Neste contexto, o sucesso parcial da tarefa pode ser facilmente avaliado pela quantidade de etapas já concluídas da tarefa, e se necessário deve-se buscar novas soluções relacionadas com as metas parciais e globais para otimizar a tarefa o que reflete o interesse no desempenho individual e coletivo. O usuário está mais preocupado com as metas da equipe e com os resultados que irá obter.

Monitoramento

O monitoramento é entendido como uma atividade de regulação. O objetivo desta atividade é fiscalizar se a dupla manteve as estratégias escolhidas para solucionar o problema, mantendo-se centrado sobre os objetivos e os critérios de sucesso. Se um usuário não sustentar o comportamento esperado, a dupla não irá atingir o objetivo comum.

Desempenho

O desempenho baseia-se em três aspectos:

Qualidade - o quão bom é o resultado das tarefas durante o trabalho colaborativo. A qualidade pode ser subdivida em três fatores: *erros cometidos pelos usuários, a solução do problema, e as interações no ambiente.*

Tempo - total de tempo decorrido durante toda a tarefa.

Trabalho - verificar se ocorreu conclusão parcial ou total das tarefas.

AMBIENTE TELEROBÓTICA COLABOTIVA

A seguir apresenta-se um ambiente para telerobótica colaborativa, denominado TECO, que é um simulador de tarefas em um ambiente virtual 3D com 2 robôs operados via rede de computadores. Esse sistema é composto de robôs

Scorbot ER-4PC de 5 DOF dispostos sobre uma cena onde aparece uma tarefa colaborativa.

Na seção anterior foram descritas as variáveis que definem a colaboratividade. Porém, individualmente, as características acima não são capazes de identificar colaboratividade, pois não existe consenso de que um único fator seja determinante para tal. Ainda vê-se que há uma influência mais significativa de algumas características, mas estas não são necessariamente interdependentes.

O Sistema TECO

Um sistema com tarefas colaborativas e comunicação em rede necessita de modelagem e planejamento da atividade [16]. Para isto, a descrição dos objetos que compõe a cena 3D foi desenvolvida através da linguagem X3D [17], que possibilita representar ambientes tridimensionais interativos na internet necessitando apenas de um *plugin* para que seu conteúdo seja interpretado e visualizado. Para complementar a dinâmica do sistema é utilizada a linguagem Java a qual utiliza o X3D apenas para visualizar o mundo virtual.

Tarefas

Dois robôs Scorbot são posicionados em uma mesa em posições opostas para efetuar um trabalho que depende um do outro para ser concluído como um todo, o que representa a essência de uma tarefa colaborativa. A disposição dos robôs leva a uma sobreposição dos seus espaços de trabalho como mostrado na Figura 1. Os dois robôs são então operados por duas pessoas diferentes e em computadores diferentes. Assim, cada operador controla um dos robôs e vê uma cena que tem os dois robôs juntos. O sistema se responsabiliza por manter as duas cenas vistas pelos dois operadores sem diferenças de posicionamentos e configuração dos robôs.

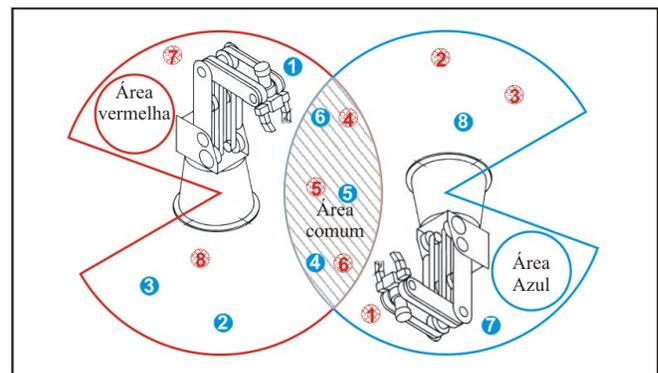


FIGURA. 1

Cenário de tarefa colaborativa

Dessa forma, cada operador (por exemplo, o vermelho) vê uma cena com os dois robôs (tanto o vermelho quanto o azul) e está controlando localmente o seu robô (por exemplo, o vermelho) ao mesmo tempo em que controla o robô

vermelho na cena remota visualizada pelo outro operador (por exemplo, o azul). O contrário ocorre para o operador do robô azul. O ambiente é simétrico o que permite que cada operador possa inferir a estratégia de solução do parceiro, pois tem um ponto de vista semelhante de tarefa. Cada operador tem completo conhecimento do status do trabalho do parceiro porque a simulação 3D e a livre navegação e visualização do ambiente garante que ambos vejam o mesmo e atual espaço da tarefa.

Objetos cilíndricos com cores vermelhas e azuis estão organizados em posições pré-estabelecidas. São indicados no ambiente duas áreas (vermelha e azul) circulares que serão utilizadas para armazenamento dos cilindros.

Nessa tarefa a dupla irá realizar o trabalho conjunto com estratégias e coordenação, de modo que o objetivo da equipe seja alcançado por meio da melhor solução.

Deste modo, o objetivo é colocar os objetos com cores azuis dentro da área azul e os objetos com cores vermelhas dentro da área vermelha. Alguns objetos estão fora do alcance de um dos robôs. Para prosseguir com a tarefa, os objetos devem ser entregues dentro da área de alcance do outro robô estabelecendo colaboração entre os robôs.

A dinâmica desta tarefa requer uma intensa operação mental para manter a coordenação. Neste caso o monitoramento da tarefa mantém a dupla centrada no objetivo global, que é concluir com sucesso a tarefa.

CONCLUSÃO

Este trabalho propôs um simulador, TECO, em que diferentes operações podem ser aplicadas, gerando soluções para completar a tarefa através de negociação e tomada de decisão.

Simuladores de Telerobótica Colaborativa proporcionam um ambiente 3D de trabalho com características de múltiplos operadores e múltiplos robôs o qual demanda a análise de colaboratividade. Este estudo demonstrou que tarefas baseadas em simulações de telerobótica apresentaram ter um potencial crescente para uma variedade de aplicações, incluindo, fabricação, operação, treinamento e educação.

Para analisar a colaboratividade foram propostas variáveis de colaboração que definem as métricas qualitativas e quantitativas aplicadas no sistema para verificar a ocorrência da colaboração.

REFERÊNCIAS

- [1] Chong, N., Kotoku, T., Ohba, K., Tanie, K. "Virtual Repulsive Force Field Guided Coordination for Multi-telerobot Collaboration". In: Proceedings of the 2000 IEEE International Conference on Robotics & Automation Seoul, Korea. 2001, pp. 21-26.
- [2] Churchill, E., Snowdon, D. "Collaborative virtual environments: an introductory review of issues and systems."
- [3] Eshed Robotec. "Scorbot ER-4PC User's Manual", Rosh Ha'ayin. Israel, A. 1982

- [4] Hoss, A., Leal, A. B., Hounsell, M. S. VirBot4u: Um Simulador de Robô usando X3D. In: I Simpósio de Computação Aplicada, 2009, Passo Fundo - RS. I SCA. Porto Alegre - RS : SBC, 2009. p. 1-15.
- [5] Redel, R. e Hounsell, M. S. (2004). "Implementação de Simuladores de Robôs com o Uso da Tecnologia de Realidade Virtual". In: IV Congresso Brasileiro de Computação, Itajaí – SC. IV CBCOMP, v. 1, 2004, pp. 398-401.
- [6] Scorbace Intelitek Inc. User Manual. Catalog #100342 Rev. E. 2003.
- [7] Goldberg, K., Chen, B. "Collaborative control of robot motion: Robustness to error". In International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), 2001.
- [8] He, X., Chen, Y. "Six-Degree-of-Freedom Haptic Rendering in Virtual Teleoperation". In: IEEE Transactions On Instrumentation And Measurement, Vol. 57, No. 9, 2008, pp. 1866-1875.
- [9] Hu, H., Yu, L., Tsui, P., Zhou, Q. "Internet-based robotic systems for teleoperation". In: Journal: Assembly Automation. ISSN: 0144-5154. Volume: 21 Issue: 2, 2001, pp. 143-152
- [10] Wang, X., Moallem, M., Patel, R. "An Internet-Based Distributed Multiple-Telerobot System". In: IEEE Transactions On Systems, Man, And Cybernetics-Part A: Systems And Humans, Vol. 33, No. 5, 2003, pp. 627-633.
- [11] Cioi, D., Vatau, S., Maniu, I. Virtual Reality Laboratory for Robotic Systems. SACI Romanian-Hungarian Joint Symposium on Applied Computational Intelligence. Timisoara. 2006, pp 1-8.
- [12] Filippo, D., Raposo, A., Endler, M., Fuks, H. "Ambientes Colaborativos de Realidade Virtual e Aumentada". in: Realidade Virtual e Aumentada - Conceitos, Projeto e Aplicações, Cláudio Kirner e Robson Siscoutto (eds), Editora SBC-Sociedade Brasileira de Computação, Porto Alegre, ISBN 85-7669-108-6, 2007, Cap. 9, pp. 169-192 Disponível em <http://groupware.les.inf.puc-rio.br>.
- [13] Burdea, G. e Coiffet, P. Virtual Reality Technology. Nova York: John Wiley & Sons. ISBN 0-471-08632-0. 1994. 400 pgs.
- [14] Kemczinski, A., Marek, J., Hounsell, M., Gasparini, I. "Colaboração e Cooperação: Pertinência, Concorrência ou Complementaridade". Revista Produção On-Line UFSC-ABEPRO Florianópolis, SC, Brasil, disponível em: www.producaoonline.ufsc.br. ISSN 1676 – 1901, Vol. 7, Num. 3, 2007, pp. 396-401.
- [15] Collazos, C. A., Guerrero, L. A., Pino, J. A., *et al*, "Evaluating Collaborative Learning Processes using System-based Measurement" *Educational Technology & Society*. 2007, pp. 257-274.
- [16] Wang L., Keshavarzmanesh S., Feng, H.Y. "Design of adaptive function blocks for dynamic assembly planning and control" *Journal of Manufacturing Systems*. 2008, pp. 45-51.
- [17] Web3D Consortium. "Open Standards for Real-Time 3D Communication". Disponível em: www.web3d.org/x3d. Acessado em: 10/10/2009.