

# RACIOCÍNIOS GEOMÉTRICOS NA AVALIAÇÃO DA PREENSÃO DE UM ROBÔ VIRTUAL

SANTIAGO VIERTTEL, MARCELO S. HOUNSELL, ROBERTO S. U. ROSSO JR.

LARVA - Laboratório de Realidade Virtual Aplicada,  
DCC - Departamento de Ciência da Computação,  
UDESC – Universidade do Estado de Santa Catarina,  
Campus Universitário Avelino Marcante S/N, Bairro Bom Retiro, 89223-100, Joinville, SC, Brasil  
santiago.vierttel@gmail.com, (marcelo,rosso)@joinville.udesc.br

**Abstract**—3D robot simulators can provide a safe environment for off-line task programming, learning and experimentation. A robot simulator should offer at least a complete kinematical behavior. However, gripping assessment is a non-trivial process. To incorporate the evaluation of object gripping into a simulator, it was found that there are three different approaches and Geometric Reasonings was the selected one because it can be expressed in intelligible and quick heuristics. The solution using geometric reasoning was divided into two heuristic groups: one aimed at the fast identification of impossible situations (that are immediately discarded) and; the other aimed at confirming that orientation and positioning situations are satisfied even with some embedded tolerance. The solution happens to become efficient and effective for all situations produced by user's manipulation, as it will be detailed in the paper.

**Keywords**—Robot Simulator, Articulated Robots, Off-Line Programming, Robot Programming Learning, Grasping Assessment.

**Resumo**— Simuladores robóticos 3D são capazes de proporcionar um ambiente para programação *off-line*, aprendizado ou experimentação. Um simulador de robô deve oferecer no mínimo um comportamento cinemático completo, no entanto, a avaliação de preensão (pega) não é um processo trivial. Para incorporar a avaliação da preensão de objetos em um simulador, foram encontradas três abordagens diferentes e a de Raciocínios Geométricos foi a selecionada por poder ser expressa em heurísticas inteligíveis e rápidas. A solução para a avaliação do raciocínio da preensão foi dividida em dois grupos de heurísticas: aquelas dedicadas a identificar rapidamente situações impossíveis de promover a preensão (que são descartadas imediatamente) e; aquelas focadas em confirmar se situações relativas a abordagem e posicionamento são satisfeitas, considerando uma folga conhecida. A solução se mostrou eficiente e eficaz para analisar situações de preensão geradas pela manipulação de um usuário do simulador, conforme será detalhado no trabalho.

**Palavras-chave**— Simulador de Robôs, Robôs Articulados, Programação de Robôs, Aprendizagem de Linguagens de Robôs, Avaliação de Preensão.

## 1 Introdução

Realizar a simulação da preensão de robôs manipuladores pode se tornar um desafio para os cientistas e engenheiros, pois é necessário o levantamento de aspectos importantes, que podem se tornar conflitantes entre si. Generalidade e elegância, precisão e eficiência e, solução ótima ou viável (eficaz) são apenas alguns exemplos do que precisa ser analisado para dotar um simulador de funcionalidades minimamente importantes.

Simuladores virtuais podem ser usados por aprendizes de manipulação de uma estrutura robótica simulada. O grupo de pesquisa (LARVA, 2008), vem desenvolvendo um simulador do robô Scrobot ER-4PC (Robotec, 1982), fazendo uso de Realidade Virtual (Redel e Hounsell, 2004). O simulador utiliza a tecnologia VRML integrada com a linguagem Java, possibilitando que a aplicação esteja em um servidor e possa ser executada diretamente por um *browser*. Várias funcionalidades estão implementadas como o cálculo da Cinemática Direta e Inversa, bem como manipulação diretamente no modelo gráfico ou por botões na interface. Entretanto, há ausência de um tratamento de preensão que permita avaliar a pega de objetos através da garra do robô.

Segundo Miller (2001), “preensão é uma das maneiras primárias criada para o robô interagir com objetos inseridos em seu ambiente”. Robôs de linha

de montagem fazem uso de efetadores terminais como pinças ou ventosas para realizar tarefas de *pick and place* com um alto grau de confiabilidade. Desta forma, todo o conjunto de regras responsáveis por tratar e avaliar a tarefa de manipulação de objetos feita através da garra de um robô manipulador é considerado preensão.

Devido à infinita quantidade de situações com garras e objetos distintos, podem existir diversas maneiras de pegar os objetos. Desta forma, pode-se afirmar que o problema da preensão não possui uma solução trivial, visto que se deve garantir o equilíbrio físico entre o objeto e a garra, do princípio ao fim da ação da preensão.

## 2 A Preensão na Literatura

Pelo menos três estratégias podem ser consideradas para determinar a preensão: por Detecção de Colisão; por Simulação Física e; por Raciocínios Geométricos.

Cálculos de **Detecção de Colisão** são capazes de identificar onde e de que forma duas geometrias se tocam. (Santos, 2007) menciona diferentes formas de realizar a detecção de colisões entre uma estrutura robótica e objetos dispostos em um ambiente virtual. Entretanto, somente detectar a colisão não determina se a preensão do objeto pode ser realizada coerente-

mente. Miller et al. (2003), em seu trabalho, realiza testes de preensão através da detecção de colisão entre a garra e o objeto, porém considera outros aspectos para garantir a preensão, como a simulação física.

A **Simulação Física** faz levantamentos das condições reais que ocorrem no momento de realização da preensão. É avaliado, por exemplo, o atrito necessário para que os corpos do objeto e da garra interajam e proporcionem uma ação antideslizante no contato entre eles. Morales et al. (2006) utiliza simulação física para determinar os pontos aos quais os dedos da garra encostarão na superfície de um objeto através de visão computacional. Smith et al. (1999) realiza análises de forças de atrito que são exercidas internamente ao objeto no momento da preensão em uma projeção 2D a partir do centro de gravidade do objeto. No instante do contato entre a ferramenta e a superfície de um objeto, Leite (2005) calcula o atrito através do modelo de atrito de Coulomb apresentado. A obtenção destes pontos se dá através da localização do ponto exato onde ocorre o contato através uma série de testes feitos com duplas de polígonos, sendo um de cada objeto testado. O tempo de processamento destes cálculos é tipicamente da ordem de complexidade  $O(n^3)$  (Smith et al., 1999).

Mesmo após a preensão ser realizada, a física ainda influencia na avaliação em função de restrições que causam efeitos adversos durante a movimentação da estrutura robótica como o caso de torção no objeto, oscilação no objeto causada por momentos de inércia e sobrecarga na estrutura do robô. Todos estes fatores são avaliados separadamente, por isto, cálculos físicos, em várias situações, necessitam da detecção de colisão e resultam em uma solução com grande carga de processamento.

A solução por **Raciocínios Geométricos** avalia a representação de condições quaisquer na forma de restrições que envolvam a geometria dos objetos no auxílio à tomada de decisões. Estas condições podem complementar outras análises (como as de física e detecção de colisão) ou até substituí-las, pois são capazes de traduzir em regras, soluções “aceitáveis” para certas situações. Apesar da evidente perda de precisão e otimização, o uso de Raciocínios Geométricos traz como vantagens a capacidade de tornar explícita em termos geométricos a heurística do fato e são menos custosos computacionalmente.

Vários tipos de tratamentos podem ser executados com o uso de Raciocínios Geométricos, sendo que heurísticas de eliminação de soluções impossíveis são comuns (Miller et al., 2003 e; Sunil e Pande, 2003). Regras como verificar se o objeto encontra-se interno ao Volume de Trabalho do robô ou se a abertura máxima da pinça é muito pequena em comparação ao objeto, podem ser usadas para eliminar logo no início situações impossíveis de pega.

Tratamento de imprecisões também pode ser alvo dos Raciocínios Geométricos na análise da preensão. Para garantir a pega para pequenas variações no ambiente, Smith et al. (1999) e Morales et al. (2006)

adicionaram uma tolerância (geométrica) no momento da realização da preensão ampliando o domínio das situações “aceitáveis” para a preensão.

Raciocínios Geométricos podem funcionar como filtros para outras situações, além da vantagem poder-se expressar através de heurísticas, situações consideradas factíveis e estáveis para preensão, oriundas da experiência ou de particularidades da área de aplicação. De fato, em algumas propostas foram incluídos cálculos de física após análises com Raciocínios Geométricos para garantir a pega de uma maneira mais real como foi feito por Smith et al. (1999) e Miller et al. (2003).

Pode-se perceber pelos trabalhos apresentados que, dados o objeto, robô e a garra específica, a avaliação da preensão pode ser efetuada com, pelo menos, dois propósitos:

(a) Obter sem a intervenção do usuário soluções ótimas de preensão que atendam um conjunto (por vezes limitados) de critérios (normalmente físicos) sugerindo as melhores posições e orientações da garra para preensão e;

(b) Avaliar as configurações que os usuários produziram pela manipulação do robô para identificar se aquela situação promoverá ou não uma preensão.

Os trabalhos relacionados apresentados anteriormente se encaixam na busca por soluções ótimas sendo que não foi encontrado na literatura trabalhos com o segundo propósito. Vale ressaltar que, o fato de não ser uma solução ótima (primeiro propósito), não significa que não possa ocorrer uma preensão estável e segura. Portanto, nem todas as soluções do primeiro propósito podem ser adaptadas para o segundo propósito.

Este trabalho apresentará uma solução para o segundo propósito, ou seja, avaliar a disposição que resultou da manipulação do usuário sobre o robô virtual e sua garra perante o objeto-alvo a ser pego e, após um processamento baseado em Raciocínios Geométricos, responderá se é “aceitável” (possível), ou não, acontecer a preensão. O simulador mostrará uma resposta positiva ou negativa sobre a preensão. Caso a resposta seja negativa, mostra-se ao usuário o motivo da rejeição.

Adotar Raciocínios Geométricos é a solução que se apresenta mais capacitada para atender aos rigorosos requisitos de performance impostos pela tecnologia adotada (no caso, VRML, executando com um plug-in no navegador de Internet, com recursos implementados em Java sobre uma máquina virtual local).

### 3 Preensão por Raciocínios Geométricos

Para que o algoritmo composto por Raciocínios Geométricos responda se a preensão é válida, faz-se necessário definir dados geométricos específicos da garra, do objeto a ser pego e do ambiente.

Os dados necessários para representação da garra são dados geométricos, que neste caso são os dados de uma pinça de dois dedos que é a garra instalada no robô “Scorbot ER-4PC”, e dados mais genéricos como de posição e orientação da garra.

A Figura 1 apresenta parte do modelo de representação da garra do tipo pinça de dois dedos. Estão representados os vetores de orientação da garra, nomeados como: vetor de Aproximação ( $\vec{Apg}$ ), vetor de Eixo lateral ( $\vec{Elg}$ ) e vetor  $Up$  ( $\vec{Upg}$ ), bem como o ponto de referência utilizado nas avaliações de preensão, nomeado de Ponto Final da Pinça (PFP).

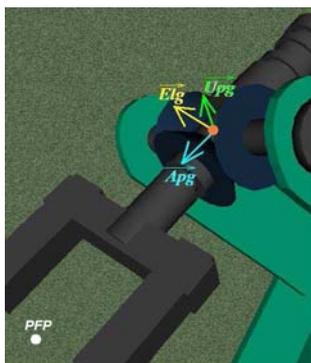


Figura 1. Representação da Garra.

São ainda necessárias as informações específicas para cada tipo de objeto e podem ser considerados diferentes tipos de geometrias primitivas com diferentes dimensões. Para o tipo esfera, por exemplo, define-se o seu ponto central e o seu raio, enquanto que para um cilindro, é necessário conhecer sua altura também. Todos os objetos têm um volume envolvente para que seja testada, em etapas posteriores, a proximidade dele em relação à garra do robô. Este volume possui formato de esfera e é indicado por um raio e seu ponto central coincidente com o centro de massa do objeto.

A representação do ambiente é feita através de informações como limites de rotações do robô, limites da mesa, posições do robô e da mesa.

Caso a preensão ocorra de maneira satisfatória, o objeto será incluído na árvore estrutural implementada em VRML através na função *addChild()*, fazendo com que o objeto se mova juntamente com o braço do robô, caso este último seja movimentado.

Para então raciocinar geometricamente sobre a preensão, várias heurísticas são necessárias de tal forma que elas foram divididas (categorizadas) em duas etapas sequenciais:

- **Exclusão:** Etapa que possui Raciocínios Geométricos responsáveis por identificar situações impossíveis de ocorrer a preensão. Esta etapa caracteriza-se por ser constituída de testes rápidos e genéricos, levando em conta somente a posição do objeto e do robô. Basta um deles ser válido para se ter certeza de que não haverá preensão e então ser gerada uma mensagem de erro;

- **Confirmação:** Etapa que possui uma série de raciocínios divididos e organizados para o tratamento específico das diferentes geometrias. Cada raciocínio avaliado como válido confirma aquela respectiva condição (heurística) para a preensão mas individualmente cada heurística não é a definitiva, requerendo que todas as confirmações sejam validadas para se concluir em preensão possível. De fato, a confirmação definitiva virá somente com um processo de *try-out* real mas, a confirmação, em ambiente simulado, serve de indicativo objetivo da probabilidade de se efetuar a pega.

A preensão terá um tratamento distinto para cada tipo de garra e para cada tipo de objeto na cena. Os objetos considerados neste simulador são sólidos rígidos primitivos, ou seja, os objetos não são maleáveis, e possuem o formato de esfera, paralelepípedo ou cilindro. Os tipos de sólidos como paralelepípedo e cilindro podem ser dispostos tanto em pé como deitado, orientados de qualquer forma em relação ao plano do robô (dispostos longitudinalmente, diagonalmente ou inclinados).

No momento da execução da preensão, a aplicação executará os testes de exclusão e depois os de confirmação que, por sua vez, selecionará qual algoritmo se encaixa para o tratamento do tipo de objeto geométrico específico que será pego. Além de produzirem um resultado definitivo individualmente, os Raciocínios Geométricos de exclusão são algoritmicamente mais simples, usam menos dados e são mais rápidos. Portanto, a etapa de exclusão foi selecionada para ser executada antes da etapa de confirmação, tem que ser todos testados, são mais lentos e envolvem mais dados.

### 3.1 Exclusão

Abaixo estão listadas as heurísticas identificadas para efetuar a exclusão de situações de preensão. Os raciocínios estão na ordem em que são executados considerando a probabilidade de ocorrerem e/ou a complexidade computacional. Portanto, não há condições de preensão quando:

(1) **Status da Garra:** Quando a garra estiver fechada;

(2) **Tamanho do Objeto versus Garra:** Quando o menor valor das três dimensões da OBB (*Oriented Bounding Box*) do objeto for maior do que o valor da abertura da garra (*O - Opening*);

(3) **Proximidade da Garra:** Quando o objeto e a garra se encontram muito longe um do outro a situação é excluída, podendo o objeto estar interno ao Volume de Trabalho do robô ou não. Para realizar este teste é verificado se a ponta da garra encontra-se fora do volume envolvente do objeto;

(4) **Acessibilidade:** São testes que verificam se a garra tem acesso ao objeto não promovendo colisões com objetos circundantes na posição final determinada para a preensão;

(5) **Bounding Box de Trabalho:** Quando o centro de gravidade do objeto se localiza externo a uma caixa (AABB – *Axis-Aligned Bounding Box*) que envolve todo o volume de trabalho do robô;

(6) **Fatia Traseira:** Quando o objeto está localizado em uma região inacessível ao robô devido ao limite de rotação da sua base;

(7) **Esferóide de Trabalho:** Quando o objeto está com o seu centro de gravidade externo ao volume de trabalho do robô.

### 3.2 Confirmação

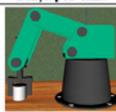
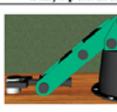
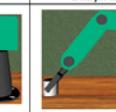
Cada tipo de sólido terá seu tratamento específico através de um conjunto de Raciocínios Geométricos implementados especificamente para ele.

Para que comece esta etapa, faz-se necessário o conhecimento de qual é o tipo do objeto, suas dimensões e orientações. Devido às diferentes formas possíveis de um objeto ser pego pela garra, é necessário separar as situações de prensão que são divididas de acordo com o tipo de abordagem da garra, podendo a mesma estar realizando a prensão na vertical, na horizontal ou na diagonal.

Pode-se dividir a abordagem da garra em várias situações distintas: por cima, por baixo, pela frente, por trás e inclinada. As abordagens inclinadas, tanto pela frente como por trás, têm tratamento análogo. Da mesma forma, são tratamentos análogos por cima e por baixo (apenas de este ser menos provável no ambiente virtual em análise); pela frente e por trás. A prensão feita pelo lado do objeto não foi considerada, pois o robô Scorbot é um robô articulado com 5 DOF (*Degrees Of Freedom*), não existindo rotação *yaw* em seu punho.

A Tabela 1 mostra as situações de prensão que serão tratadas através dos Raciocínios Geométricos para o objeto cilindro, sendo estas separadas para cada situação em especial, ou seja: por cima, pela frente e inclinada. Note que um cilindro, diferente de uma esfera, se apresenta em pé ou deitado e, esta última situação pode ser dividida em longitudinal (eixo do objeto paralelo ao plano de articulação do robô); transversal (eixo do objeto perpendicular ao plano de articulação do robô) e; diagonal (eixo do objeto inclinado em relação ao plano de articulação do robô). Para cada situação de abordagem da garra e disposição do objeto, tem-se um conjunto de Raciocínios Geométricos para tratá-lo.

Tabela 1. As diferentes situações de abordagem para cilindro.

Disposição	Pinça por cima	Pinça pela frente	Pinça inclinada
Ereto			
Deitado	Alinhado Longitudinal 		
	Transversal 		
	Diagonal 		

Para identificar as possíveis situações de prensão (mostrada na Tabela 1 para os cilindros), há de serem consideradas folgas (pequenas variações que não comprometeriam a prensão).

#### 3.2.1 Folga

Durante a manipulação do robô virtual feita pelo usuário estudante da robótica, existe a possibilidade de ocorrer pequenas variações entre a orientação da garra e do objeto. Seria muito restritivo exigir que a garra segurasse um objeto exatamente por cima sem variações angulares entre seu vetor de aproximação e o eixo Y de coordenadas, por exemplo. Existem casos onde estas variações são irrelevantes e levam a uma prensão satisfatória. Igualmente, seria muito restritivo exigir que a prensão ocorresse sempre exatamente pelo centro de gravidade do objeto.

No ambiente computacional, existe ainda o problema de eventuais erros propagados pela limitação na precisão dos valores numéricos, que dependem da linguagem em uso e da forma como os parâmetros forem definidos. Como o mundo real ocorrem também pequenas variações/imperfeições, tanto na construção do robô como nos posicionamentos dos objetos, que não comprometem a decisão de prensão, então é necessário que sejam tratadas as folgas no algoritmo de teste de prensão. Para considerar as pequenas variações angulares e espaciais existentes no momento da prensão, foram criados cálculos de confirmação que se baseiam em limites angulares e espaciais para determinar se uma prensão é realizável ou não. Estes dois diferentes tratamentos foram denominados de Folga de Abordagem e Folga Geométrica. A Figura 2 ilustra a divisão do tratamento de folga.

$$\text{Folga} \left\{ \begin{array}{l} 1^\circ \text{ Abordagem} \rightarrow f(T\_Obj, O\_Obj, O\_Gar) \\ 2^\circ \text{ Geométrica} \rightarrow f(G\_Obj, G\_Gar) \end{array} \right.$$

Figura 2. Divisão das análises de Folga.

Como é mostrado na Figura 2, a Folga de Abordagem é o bloco de análises que são realizadas anteriores ao bloco que compõe a Folga Geométrica. Foi observado que a folga de abordagem (de orientação) depende do tipo de objeto primitivo ( $T_{Obj}$ ) e das orientações do objeto ( $O_{Obj}$ ) em relação à garra ( $O_{Gar}$ ). Já a folga geométrica (de posição) depende da geometria do objeto ( $G_{Obj}$ ) e da geometria da garra ( $G_{Gar}$ ).

- **Folga de Abordagem:** Este tratamento consiste em verificar se a orientação da garra condiz com uma das situações de abordagem (exemplificadas na Tabela 1 para o caso de um cilindro). Para reconhecer se a situação do ambiente encontra-se em um dos padrões considerados, são feitos testes com os ângulos dos vetores que representam a garra e os do objeto que então levam a determinar se a abordagem da garra é por cima, por exemplo. Caso seja reconhecido um dos padrões possíveis para preensão, a preensão pode ser aceita em termos de abordagem da garra.

Como é possível visualizar na Figura 3, um valor de Folga de Abordagem ( $\Delta ab$ ) é utilizado para permitir as variações angulares em cada eixo de coordenadas da garra.

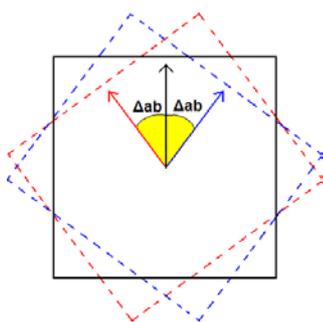


Figura 3. Folga de Abordagem num quadrado 2-D.

O efeito do  $\Delta ab$  é permitir imprecisões de orientação, como se o objeto pudesse ter sofrido um tremor. Note que  $\Delta ab$  é aplicado tanto numa direção quanto nas outras. Como está presente uma tolerância de angulação entre vetores da garra e do objeto, é formado um volume cônico sobre cada eixo do sistema de coordenadas da garra que define a tolerância da variação. O valor de  $\Delta ab$  foi definido como 9 graus ( $\pi/20$ ) inicialmente, mas pode ser modificado;

- **Folga Geométrica:** Esta etapa possui testes mais genéricos e não diferem em função do tipo do objeto. Os testes realizados são os mesmos, independente da abordagem identificada anteriormente e da geometria do objeto e da garra. O teste consiste em verificar se o *PPF* (vide Figura 1) localiza-se interno a um pequeno volume de folga projetado a partir do centro de massa do objeto a ser pego. Caso o ponto esteja interno a este volume, o teste é aprovado e então a preensão é dada como válida.

Para determinar as dimensões do volume de folga de posição que resulta na forma de um cubo, é utilizado um valor modular espacial. Este valor é

denominado Folga Geométrica ( $\Delta ge$ ), e é calculado através de valores pertencentes à geometria do objeto e da garra. O  $\Delta ge$  corresponde à metade do menor valor entre as três dimensões do volume envolvente aproximado (no caso, é usada uma OBB) do objeto (valores peculiares ao objeto) e a altura dos dedos da garra (valor peculiar da garra).

Conforme pode ser observado na Figura 4, este volume é projetado a partir do centro de massa do objeto e sua orientação acompanha a orientação da garra (e portanto, varia nas direções  $\vec{Apg}$ ,  $\vec{Elg}$  e  $\vec{Upg}$ , vide Figura 1). Basicamente, se o *PPF* estiver dentro do cubo inscrito ao objeto, então este teste resulta positivo para preensão.

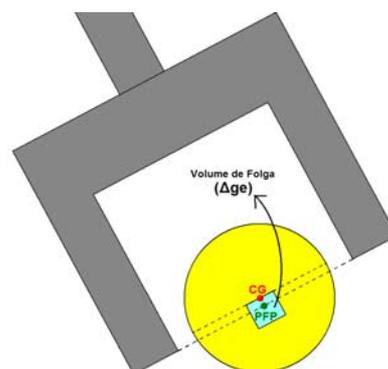


Figura 4. Folga de Geométrica interna ao Objeto.

### 3.3 Implementação

Os Raciocínios Geométricos de preensão foram implementados em linguagem Java integrada ao VRML com um simulador que dispõe do recurso da detecção de colisão (Santos, 2007).

Os testes de status da garra e acessibilidade podem ser desconsiderados caso o ambiente simulador efetue cálculos de detecção de colisão, pois seriam identificados por este. Entretanto, implementar o teste de garra por exclusão de sua dimensões é mais rápido e pode ser requerido a qualquer momento e em qualquer lugar portanto, este foi implementado.

Testes de *performance* foram realizados em um computador com processador P4 2.4 GHz e com 512 MB de memória RAM. O fato de o algoritmo ser executado em um tempo inferior ao de dez milissegundos mostrou que a solução possui desempenho computacional tão eficiente que a solução inicialmente projetada para ser usada somente sob demanda (quando o usuário requeresse a avaliação da configuração que gerou), foi implementada de forma que a toda manipulação no robô, o usuário recebe um *feedback* sobre a possibilidade de preensão de um objeto selecionado.

Em ambos os tratamentos de folga percebe-se que isto representa, na verdade, uma perda de precisão no momento da preensão e, em últimos casos, a preensão só poderá ser completamente avaliada por um processo de *try-out*.

#### 4 Conclusão

Simular a preensão robótica ainda se apresenta como um desafio pois suscita vários aspectos conflitantes que necessitam ser balanceados: generalidade e elegância; precisão e eficiência; solução ótima ou viável (eficaz).

Há na literatura uma predominância de soluções que visam identificar as situações ótimas para a preensão através do uso de três principais técnicas para se identificar automaticamente as situações de preensão: Simulação Física; Cálculos de Detecção de Colisões e; Raciocínios Geométricos. A solução aqui adotada, Raciocínios Geométricos, foi selecionada com objetivos de inteligibilidade e eficiência, expressas por heurísticas que podem representar a experiência na tarefa, bem como restrições físicas indiretas.

Os Raciocínios Geométricos para a preensão foram divididos em dois grupos, onde o primeiro exclui situações que são inválidas para a preensão e o segundo faz a confirmação de que pode ocorrer a preensão levando em conta o posicionamento relativo do objeto e da garra.

Descobriu-se que as situações existentes puderam ser categorizadas (como por exemplo: em pé ou deitado) conforme a geometria, o que permitiu a organização e priorização dos raciocínios (algoritmos).

A solução adotada flexibilizou o cálculo através da adoção da Folga de Abordagem e Geométrica e adota o teste da pertinência de um ponto de referência da garra, dentro de um volume específico inscrito ao objeto como base para a decisão da preensão. Esta solução é elegante (conceitualmente simples), genérica (aplica-se a várias geometrias primitivas que podem ser os volumes envoltórios de objetos mais complexos), tem precisão (pois se baseia nos modelos geométricos da cena) e é eficiente (são testes rápidos de executar) para avaliar se uma situação composta por um usuário aprendiz é viável (promove a preensão), ou não.

#### Referências

- LARVA (2008). Site do grupo de pesquisa. Disponível em: [www.joinville.udesc.br/larva](http://www.joinville.udesc.br/larva).
- Leite, A. C. (2005). Controle Híbrido de Força e Visão de um Manipulador Robótico Sobre Superfícies Desconhecidas, *Tese de Mestrado, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio de Janeiro*, Abril. Disponível em: <http://www.pee.ufrj.br/teses/textocompleto/2005042806.pdf>. Acessado em: 15/07/2008.
- Miller, A. T. (2001). GraspIt!: A Versatile Simulator for Robotic Grasping, *Tese de Doutorado, Departamento de Ciência da Computação, Universidade de Columbia*, Junho. Disponível em:

- <http://www1.cs.columbia.edu/~amiller/thesis.pdf>. Acessado em: 15/07/2008.
- Miller, A. T., Knoop, S., Allen, P. K. e Christensen, H. I. (2003). Automatic Grasp Planning Using Shape Primitives, *In Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation*, pp. 1824-1829. Disponível em: <http://www1.cs.columbia.edu/~amiller/graspPlanning.pdf>. Acessado em: 15/07/2008.
- Morales, A., Sanz, P. J., Pobil, A. del e Fagg, A. H. (2006). Vision-based three-finger grasp synthesis constrained by hand geometry, *Robotics and Autonomous Systems*, pp. 496-512. Disponível em: [http://www-symbiotic.cs.ou.edu/papers/2004/morales\\_grasp\\_synthesis\\_ver\\_1.pdf](http://www-symbiotic.cs.ou.edu/papers/2004/morales_grasp_synthesis_ver_1.pdf). Acessado em: 15/07/2008.
- 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, Outubro, CBCOMP 2004. p. 398-401.
- Robotec, E. (1982). Scorbot ER-4PC: User's Manual, Rosh Ha'ayin, Israel.
- Santos, R. G. (2007). Detecção de Colisões em Ambiente Robótico, Trabalho de Conclusão de Curso, Bacharelado em Ciência da Computação. UDESC.
- Smith, G., Lee, E., Goldberg, K., Böhringer, K. e Craig, J. (1999). Computing Parallel-Jaw Grips, *In Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation*, Detroit, MI. Disponível em: <http://goldberg.berkeley.edu/pubs/grip.pdf>. Acessado em: 15/07/2008.
- Sunil, V. B. e Pande, S. S. (2003). WebROBOT: Internet based robotic assembly planning system, *Computers in Industry*, Vol. 54, pp. 191-207. Disponível em: <http://graco.unb.br/alvares/temp/webassembly.pdf>. Acessado em: 15/07/2008.