

ROBÔS MÓVEIS AUTÔNOMOS SOROCABA-BULLS NA TAREFA DO TRANSPORTE ROBÓTICO DE PROVISÕES

ALEXANDRE S. SIMÕES, BRUNO C. PILON, DANILO H. ESTEVES, JOSÉ V. F. JÚNIOR, RONALDO CARRION, ANTÔNIO C. G. MARTINS

Grupo de Automação e Sistemas Integráveis (GASI)

Universidade Estadual Paulista (UNESP) - Campus de Sorocaba

Av. Três de Marco, 511 – Alto da Boa Vista – 18087-180 – Sorocaba – SP – Brasil

E-mails: {brunocpilon, daniloesteves, zezinhof}@grad.sorocaba.unesp.br, {assimoes, amartins, rcarrion}@sorocaba.unesp.br

Abstract— This paper describes the UNESP Sorocaba-Bulls robots team developed to accomplish the “robotic transport of provisions between spaceship and space station” task, proposed on the VI IEEE Latin American Robotic Competition in the LEGO category. Here we present our reading about the proposed environment and a discussion about the implemented robots, focusing on agents behaviors, synchronization of the sequential transition of the behaviors and in robots mechanical issues.

Keywords— Robotics, Behaviors, reactive paradigm.

Resumo— Este artigo descreve os robôs da equipe Sorocaba-Bulls da UNESP desenvolvidos para completar a tarefa da “transporte robótico de provisões entre espaçonave e estação espacial”, proposta na V Competição IEEE Latino-Americana de Robótica na categoria LEGO. Apresenta-se aqui uma leitura do ambiente proposto e uma discussão geral sobre os robôs implementados, com foco nos comportamentos dos agentes, na sincronização da transição sequencial de comportamentos e nos aspectos mecânicos dos robôs.

Palavras-chave— Robótica, comportamentos, paradigma reativo.

1 Introdução

A tarefa do “transporte robótico de provisões entre espaçonaves” é contextualizada da seguinte forma: duas naves estavam explorando Marte e devido a um vazamento de óleo uma delas se chocou com o planeta. Os tripulantes desta nave foram resgatados e medicados por uma tripulação de dois robôs da segunda nave e, agora, durante a viagem de volta para a Terra, a nave espacial ficou sem provisões. Por sorte, havia uma antiga estação espacial com alimentos e combustível nas proximidades. A nave atracou na estação e os dois robôs devem agora fazer o transporte das provisões. Devido à composição desconhecida do ar na estação, somente um dos robôs é capaz de enfrentar a atmosfera hostil do ambiente, enquanto o segundo robô pode apenas auxiliá-lo armazenando as provisões nas áreas apropriadas na espaçonave. Para evitar contaminação, os robôs não podem manipular simultaneamente combustível e alimentos, devendo trazer somente um ou outro por vez. Por motivo de segurança, ainda, a espaçonave só pode permanecer atracada durante 5 minutos. O ambiente do transporte robótico de mantimentos entre espaçonaves é ilustrado na Figura 1.

Desta forma, a tarefa pode ser resumida da seguinte forma: dois robôs devem cooperativamente pegar o máximo possível de provisões na estação espacial, transportá-las até a espaçonave e deixá-las nas áreas apropriadas.

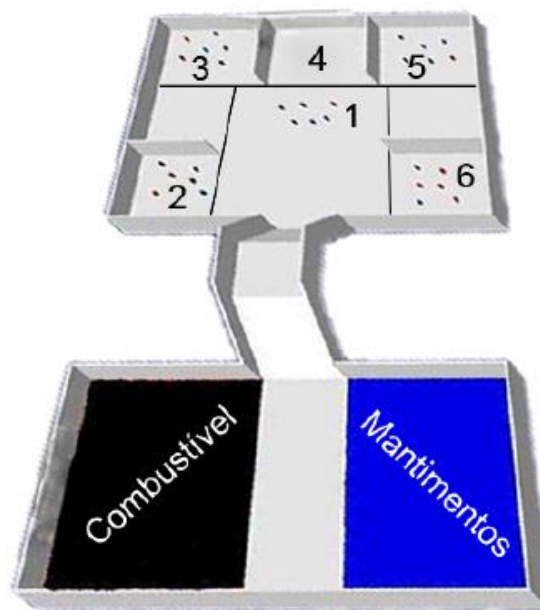


Figura 1. Ambiente da tarefa do transporte de mantimentos entre espaçonaves: representação da nave (abaixo) acoplada à estação espacial (acima).

No que diz respeito à sistemática de programação de robôs para tarefas como esta, um dos paradigmas de maior sucesso na robótica móvel nos últimos anos é o paradigma reativo (Brooks, 1990). Segundo este, o agente não realiza qualquer tipo de planejamento: a interação com o mundo se dá apenas através da reação do agente às condições do mundo em um determinado instante. Assim, uma arquitetura reativa típica não faz uso de um modelo de mundo ou de raciocínio simbólico complexo. Em outros

termos, a atividade do agente é vista como uma coleção de comportamentos associados às primitivas *sentir-agir*. A atividade inteligente, então, emerge desta coleção de comportamentos, ou, em outros termos, “comportamentos simples operando de forma independente podem levar a o que um observado externo vê como uma seqüência complexa de ações” (Murphy, 2000).

O presente trabalho descreve o time de robôs Sorocaba-Bulls da UNESP, desenvolvido para completar a tarefa do transporte robótico de provisões entre espaçonaves, e encontra-se organizado da seguinte forma: a seção 2 apresenta uma avaliação da tarefa. A abordagem adotada (hardware e software) para completar a tarefa é descrita na seção 3. A seção 4 descreve testes realizados, cujos resultados são apresentados na seção 5. Finalmente, a seção 6 descreve as conclusões deste trabalho.

2 Avaliando a tarefa

Esta seção apresenta a leitura do grupo sobre a tarefa a ser cumprida, segundo dois prismas distintos: *i*) o ambiente no qual os agentes estão inseridos e *ii*) os agentes propriamente ditos. A Tabela 1 apresenta algumas considerações iniciais sobre o ambiente da estação espacial atracada à nave que inspiraram a solução descrita nas seções a seguir. Baseado na leitura do ambiente, a definição proposta para os agentes robóticos é apresentada na Tabela 2.

Tabela 1. Propriedades do ambiente

Acessível ou inacessível?	Inacessível. Os sensores embutidos nos robôs não detectam todos os aspectos do ambiente que são relevantes para a escolha da ação. Deste modo, os agentes devem conter um sistema de estados interno para agir no ambiente.
Determinístico ou não-determinístico?	Determinístico. Pode-se considerar que existe uma relação de causa-efeito bem estabelecida entre os agentes e o ambiente em boa parte das situações.
Episódico ou não-episódico?	Episódico. Por uma questão de simplificação, pode-se modelar o ambiente como episódico (episódios subsequentes não dependem de situações anteriores), visto que a mesma seqüência de ações será repetida algumas vezes. Essa abordagem falha no trato com alguns elementos, como no posicionamento dos recursos na estação.
Estático ou dinâmico?	Dinâmico. O ambiente não muda com a evolução do tempo, mas os agentes o fazem.
Contínuo ou discreto?	Contínuo. O sistema não pode ser modelado como um número fixo de células, dado que, por exemplo, as posição das provisões é alterada de forma contínua.

Tabela 2. Características dos agentes.

Tipo de agentes	Robô coletor e transportador de provisões.
Ambiente	Sistema estação/nave espacial.
Objetivos	Localizar e transportar mantimentos para o abastecimento da nave.
Percepções	Paredes, muros e divisórias do ambiente, provisões, outro robô.
Ações	Procurar o outro robô, comunicar-se, carregar provisão, procurar depósito, liberar provisão, pegar provisão.

3 Abordagem da Proposta

A avaliação do ambiente e agentes realizada na seção anterior sugere que a tarefa pode ser realizada por um grupo de agentes robóticos modelados utilizando o paradigma reativo de programação (Brooks, 1990). Desta forma, a presente seção descreve a implementação do time de robôs Sorocaba-Bulls em termos de: *i*) comportamentos; *ii*) forma de transição entre os comportamentos; *iii*) comunicação; *iv*) navegação; *v*) aspectos mecânicos.

3.1 Comportamentos

A opção por um sistema reativo faz necessária a modelagem dos comportamentos para os diversos pares sentir-agir dos robôs. Nesse sentido, os possíveis comportamentos dos mesmos foram projetados com base nas ações apresentadas na tabela 2. Nesta abordagem todos os comportamentos possuem o mesmo nível hierárquico, ou seja, nenhum comportamento tem precedência sobre os demais. A forma de transição entre os comportamentos será detalhada na seção a seguir. Um modelo esquemático dos comportamentos implementados é apresentado na Figura 2, onde o robô A é o robô presente na espaçonave e o robô B é o robô que encontra-se na estação espacial.

É importante destacar que em alguns casos onde os agentes realizarão algum tipo de procura no ambiente, os agentes necessitarão de informações – *a priori* – sobre o ambiente para a correta execução desses comportamentos. A complexidade das buscas por provisões, no entanto, não é igual para os dois robôs. Casos particularmente mais complexos são os comportamentos “PROCURAR_PROVISÃO” e “PROCURAR_ROBO_A”, ambos executados pelo robô B, onde o ambiente (estação espacial) é grande e dividido em várias salas. Detalhes sobre a navegação dos robôs nesses casos serão fornecidos em seção específica a seguir.

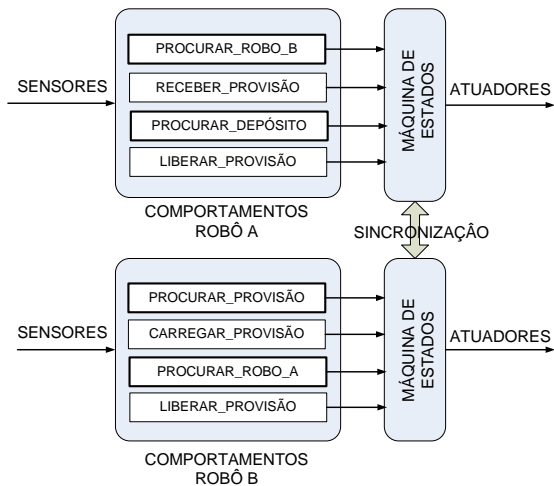


Figura 2. Diagrama de comportamento do agente A. Os comportamentos com contornos mais fortes indicam estados onde existe a necessidade de conhecimento do ambiente.

3.2 Transição entre comportamentos

Os comportamentos apresentados na figura 2 são chaveados seqüencialmente, ou seja, através de uma máquina de estados. A tarefa do transporte robótico de provisões, no entanto, possui particularidades. Uma delas é a de que alguns comportamentos obrigatoriamente devem ser executados simultaneamente, o que constitui um ponto crítico no sistema: o sincronismo entre as máquinas de estado. Uma abordagem funcional para tarefas dessa natureza com máquinas de estados sincronizadas já foi implementada com sucesso pelo grupo de trabalho em tarefas anteriores (Neto et. al., 2005). A mesma abordagem foi implementada para a solução da presente tarefa. A máquina de estado completa do sistema implementada para o chaveamento dos comportamentos é apresentada na Figura 3.

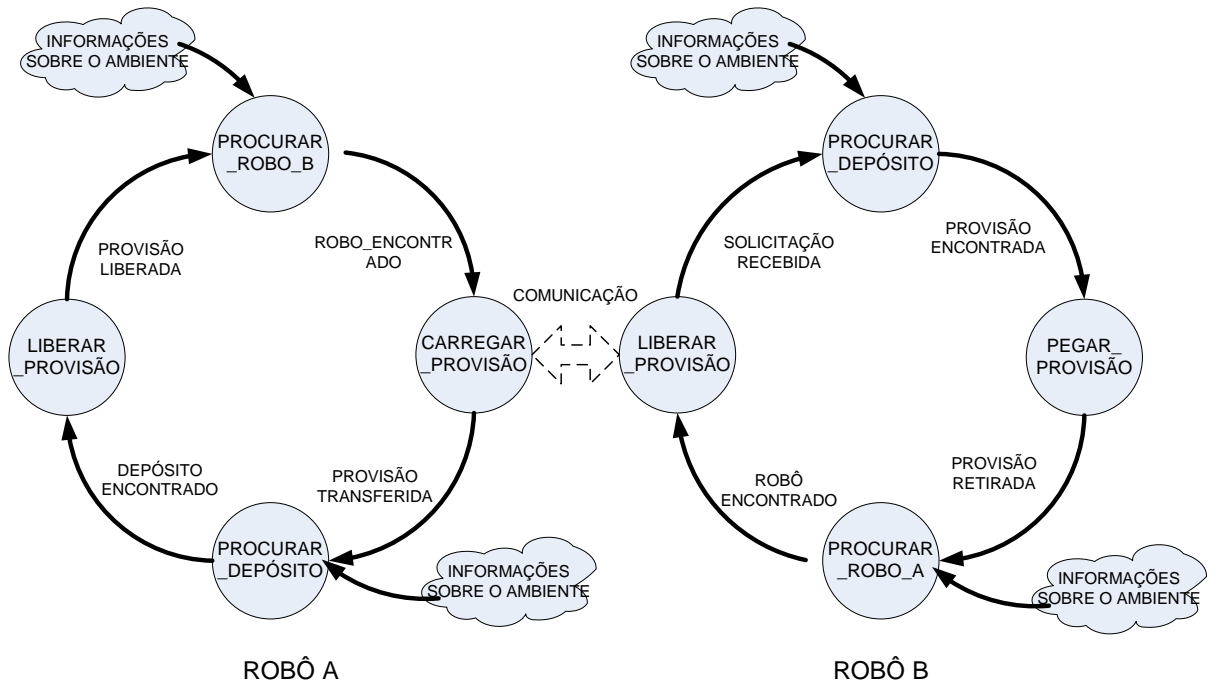


Figura 3. Máquinas de estados proposta para os robôs A e B, e a sincronização entre ambas através do processo de comunicação.

3.3 Comunicação

Visando garantir robustez a falhas de comunicação, uma sistemática de informação e confirmação (*acknowledgement*) foi implementada como protocolo de comunicação entre os agentes. A mesma sistemática já foi implementada previamente com sucesso em outras tarefas realizadas pelo grupo de trabalho (Neto et. al., 2003) (Simões et. al., 2006a) (Simões et. al., 2006b). A Figura 4 ilustra uma comunicação típica entre os dois robôs para a transferência de recursos. A falta de uma confirmação de resposta pode aumentar a crença de um robô de que uma missão solicitada

ao seu companheiro não foi completada, fornecendo a ambos um mecanismo para alterar seu estado corrente, se necessário.

3.4 Navegação

Os comportamentos que envolvem a navegação pelo ambiente (principalmente referentes ao robô B) são críticos para o sistema. O robô utilizado possui as seguintes limitações: i) seus sensores não possuem capacidade para adquirir as informações necessárias do ambiente para tal, e ii) o robô não possui capacidade computacional para implementar um mapa do ambiente utilizando técnicas elaboradas.

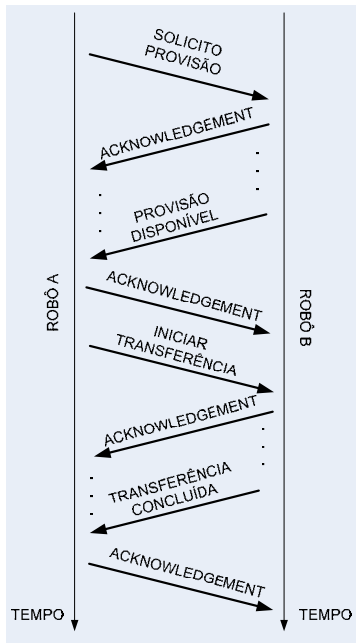


Figura 3. Exemplo de comunicação entre agentes.

Frente a essas limitações impostas pelo hardware adotado como plataforma, optou-se pelo oferecimento de um mapa simplificado do ambiente e pela navegação utilizando pontos de referência para eliminação dos erros de posicionamento até então. Assim sendo, por exemplo, o comportamento “procurar provisão” a ser executado na área 03 (ver figura 1) é implementado da seguinte forma: o robô executa um conjunto de movimentos pré-definido (virar-se de costas, andar por um tempo em linha reta, virar à esquerda e andar em linha reta) e posteriormente alinha-se fisicamente com o muro da área 03. Eventuais erros de posicionamento do robô durante o percurso (causados por escorregamentos, por exemplo) serão minimizados quando o robô encontrar suas referências ao longo do ambiente. As principais referências utilizadas foram: ponte, muros laterais e divisórias entre salas.

3.5 Aspectos Mecânicos

Baseado nas considerações anteriores, a concepção mecânica dos robôs utilizando o kit LEGO Mindstorms® pode ser vista na Figura 5, que ilustra o protótipo implementado para testes. Optou-se por robôs transportadores menores e conseqüentemente mais ágeis, com foco na mobilidade e velocidade. Dentre as principais características desse sistema estão: i) deslocamento com rodas em sistema diferencial; ii) dispositivo mecânico frontal adequado para alinhar o robô perpendicularmente a muros, e iii) dispositivo especial para capturar provisões. Este dispositivo, em particular, apresenta como maior característica o fato de realizar movimentos seqüenciais de captura, levantamento e liberação de uma provisão utilizando apenas um motor. A Figura 6 apresenta uma estrutura alternativa a mesma tarefa.

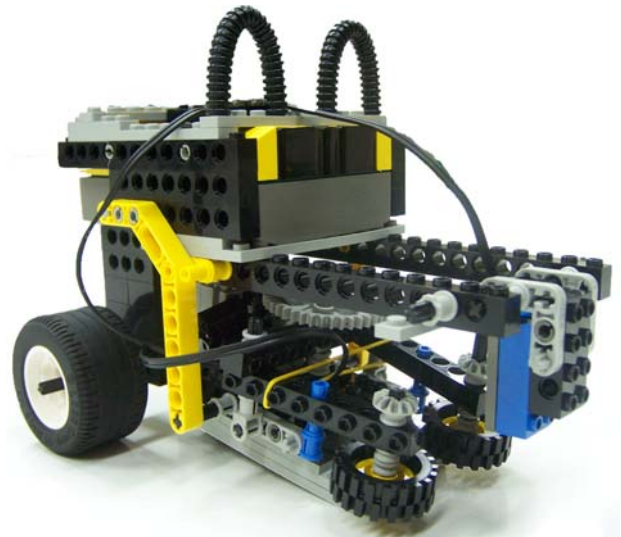


Figura 4. Robô implementado.



Figura 6. Estrutura alternativa de coleta proposta.

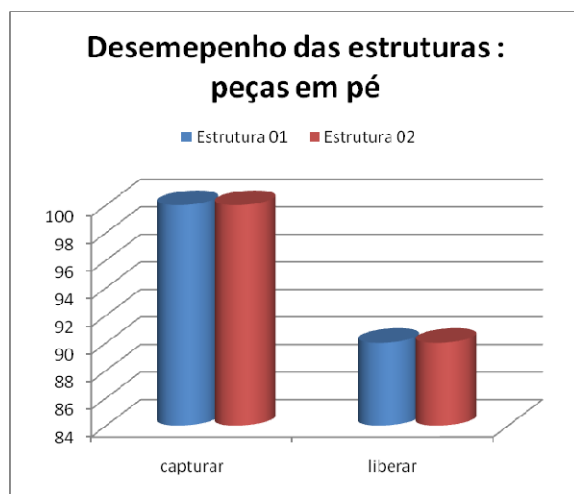
4 Testes

Foram realizados testes práticos a fim de avaliar o desempenho das duas estruturas desenvolvidas para capturar provisões. As estruturas apresentadas nas figuras 05 e 06 foram respectivamente denominadas estrutura 01 e 02. O procedimento adotado foi o seguinte: um robô foi disposto em uma superfície plana igual àquela descrita para a realização do desafio, e à sua frente foi deixada uma provisão a ser capturada. O robô, dotado de uma das estruturas (01 ou 02) sendo testada foi programado para aproximar-se da provisão, realizar sua captura e liberá-la após alguns instantes, a fim de avaliar o desempenho do sistema nas duas tarefas. O mesmo teste foi realizado em duas condições diferentes de posição da provisão: primeiramente na posição vertical e, em seguida, na posição horizontal, em cada uma dessas situações os testes foram repetidos várias vezes.

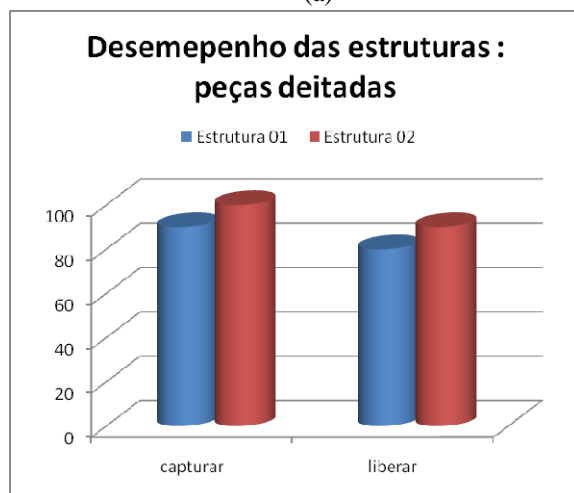
5 Resultados

Os resultados obtidos são apresentados na Figura 7. Pode-se observar que a estrutura 02 obteve re-

sultados mais satisfatórios quanto ao desempenho, de acordo com o modelo de avaliação apresentado, sendo, portanto, a estrutura escolhida para integrar os protótipos da equipe para a implementação da tarefa.



(a)



(b)

Figura 7. Desempenho do sistema de captura e liberação de provisões com as provisões: a) em pé; b) deitadas.

6 Conclusões

Este artigo apresentou o sistema robótico proposto pela equipe Sorocaba-Bulls para cumprir a tarefa do transporte de provisões. No que diz respeito à programação, o sistema tomou como base o paradigma reativo de programação, onde os comportamentos são chaveados por uma máquina de estados sincronizada com transição seqüencial e sincronizada de comportamentos. O alinhamento com referências do ambiente foi proposto como estratégia de controle para minimizar erros de posicionamento do robô ao longo do percurso. No que diz respeito aos aspectos mecânicos dos robôs, foi proposta uma estrutura rígida capaz de permitir o alinhamento com estruturas físicas do ambiente, e também uma estrutura capaz de capturar, elevar e liberar as provisões utilizando

um único motor. Esta segunda estrutura foi desenvolvida, implementada e testada.

Entre os principais pontos positivos da abordagem, destacam-se: i) robustez para realização da tarefa, devido principalmente à sincronização nas máquinas de estado dada a utilização do protocolo de comunicação com sistemática de informação e confirmação (*acknowledgement*); ii) relativa robustez a erros de comunicação, assegurada pelo mesmo protocolo; iii) redução no tempo de realização da tarefa, dada a agilidade conseguida com o tamanho reduzido dos robôs.

Como principal aspecto negativo da abordagem, a estratégia pressupõe que o sistema mecânico é robusto o suficiente para impedir que os mantimentos sejam perdidos no instante da transferência, o que não pode ser assegurado. Outros problemas verificados com esta abordagem decorrem de estados do mundo não observáveis pelos sensores disponíveis. Novas estratégias podem ser exploradas utilizando outros tipos de sensores LEGO, tais como o de rotação, que auxiliam no processo de locomoção do agente.

Dentre as principais contribuições do trabalho, em resumo, destacam-se: i) a proposição de uma sistemática simplificada de navegação utilizando correções de alinhamento baseadas em referências própria para uso na plataforma LEGO; e ii) a proposição de uma estrutura mecânica para captura, elevação e liberação de provisões utilizando um único atuador elétrico, de fundamental importância dado o limitado número de atuadores da plataforma LEGO.

Referências Bibliográficas

- Brooks, R. A. (1990). Elephants Don't Play Chess. *Robotics and Autonomous Systems* (6), pp. 3–15.
- Murphy, R. (2000). Introduction to AI robotics. *MIT Press*.
- Neto, S. J. A.; Teixeira, V. A.; Escher, B. G.; Simões, A. S. (2005). Robôs móveis autônomos da UNESP-Sorocaba na tarefa da farmácia de manipulação robótica. *Anais do VII Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente (SBAI'05)*. São Luiz (MA), 18~23 de setembro.
- Simões, A. S.; Carrion, R. Margins, A. C. G.; Costa, R. B.; Schvarcz, A. F.; Buzo, V. R.; Felipe, M. H.; Ferrari, B. A. (2006). UNESP autonomous mobile robots in the medical trash collector task: mechanical and computational issues. *In: Anais do XXVI Congresso da Sociedade Brasileira de Computação (SBC)*. Campo Grande, 17-20 de julho.
- Simões, A. S.; Carrion, R.; Martins, A. C. G., Costa, R. B., Schvarcz, A. F., Buzo, V. R., Felipe, M. H., Ferrari, B. A. (2006). Autonomous mobile robots designing for the medical trash collector task. *IEEE Latin-American Robots Symposium*. Santiago, Chile.