

Aprendizagem Evolucionária: uma abordagem para robótica móvel

André M. Schneider
URI-FW
ams@inf.ufrgs.br

Edson Prestes
Unilasalle
prestes@inf.ufrgs.br

Dante A. C. Barone
LRI-II/UFRGS
barone@inf.ufrgs.br

Resumo

Este trabalho apresenta um sistema de aprendizado evolucionário para robôs móveis e os experimentos realizados em simulação. O processo de aprendizagem é feito através de uma longa interação entre o robô e o ambiente, resultando na habilidade de navegar com segurança. O núcleo do sistema é composto por uma população de regras de navegação que evolui constantemente, ajustando o comportamento do robô. Os resultados mostram que esta abordagem apresenta desempenho satisfatório para a tarefa de navegação.

Palavras-chave: Robótica Evolucionária, Algoritmos Genéticos, Sistemas Classificadores

Abstract

This work presents an evolutionary learning system to mobile robots and the experiments in a simulated environment. The learning process is made through a long interaction between the robot and the environment, resulting in the ability to navigate safely. The core of the system is comprised of a population of navigation rules that evolves continuously, adjusting the robot's behaviour. The results show that this approach presents satisfactory performance to navigation task.

Keywords: Evolutionary Robotics, Genetic Algorithms, Classifier Systems

1. Introdução

Evolução e aprendizagem são conceitos básicos que geram o que conhecemos como "Comportamento Adaptativo", cada qual em uma dimensão temporal diferente. Evolução diz respeito à adaptação através de sucessivas gerações e aprendizagem é a adaptação de um indivíduo durante a sua existência [1]. Nos últimos anos biólogos, psicólogos, filósofos e neurologistas não estão mais sozinhos focando atenção para

estes tópicos, mas estão sendo acompanhados também por cientistas que desenvolvem trabalhos em outras áreas, tais como engenharia, computação e robótica. Seu interesse está em descobrir e implementar formas de mimetizar o comportamento adaptativo observados nos seres vivos em seus projetos. Assim, construindo dispositivos robóticos e sistemas controladores capazes de desenvolver e apresentar comportamento adaptativo, estes pesquisadores criaram um novo campo de pesquisa, conhecido como "Robótica Evolucionária" (RE). Floreano define que [2]: *"robótica é um esforço de engenharia para construir máquinas capazes de, automaticamente e, possivelmente, autonomamente, executar determinada tarefa."*

Pode se observar que esta conceituação não pode ser aplicada a todos os campos da robótica, tais como braços manipuladores e veículos teleguiados. Entretanto, enquadra-se de maneira particular à RE. Uma das características mais importantes desta abordagem é o fato de ela ser um processo completamente automático, no qual a participação do projetista do robô ou do sistema de controle é limitada praticamente à especificação de um critério para avaliar até que ponto a evolução dos indivíduos consegue desempenho satisfatório ao realizar a tarefa desejada. Ou seja, especificar o "quão boa" pode ser considerada uma solução apresentada por um determinado indivíduo da população. Uma grande dificuldade a ser superada é o fato de que a probabilidade de um indivíduo pertencente às gerações iniciais poder realizar a tarefa desejada, pelo menos em parte, é inversamente proporcional à complexidade da tarefa proposta. Isto faz com que o sistema possa, muito provavelmente, iniciar sua operação apresentando um desempenho bastante deficiente.[3]

Portanto, a RE aborda aprendizagem e evolução, a fim de gerar comportamento adaptativo. As mais conhecidas técnicas de Inteligência Computacional que representam estes dois conceitos são respectivamente, Redes Neurais Artificiais e, Algoritmos Genéticos. Segundo Nolfi [1], sob uma perspectiva evolucionária,

a aprendizagem tem várias funções, entre elas:

- permitir adaptar às mudanças do ambiente que ocorrem durante a vida de um indivíduo ou através de poucas gerações;
- permitir que a evolução utilize a informação extraída do ambiente pela canalização da busca evolucionária;
- poder ajudar e guiar a evolução.

Entretanto, também existem custos, tais como:

- o atraso na habilidade de aprimorar o grau de adaptabilidade;
- incremento irreal.

Um dos focos de atenção da RE é a navegação autônoma de robôs. Este é um problema da robótica móvel que consiste, basicamente, na realização de movimentos que gerem trajetórias satisfatórias, possibilitando ao robô realizar tarefas como deslocar-se, evitar colisões, desviar obstáculos, capturar alvos, atingir locais objetivos no ambiente, entre outras. Robôs móveis autônomos devem ser capazes de aprender estratégias de navegação e, para confirmar sua característica de autonomia, deve conseguir adaptar-se a novas situações e alterações no ambiente. Isso significa que, quanto mais diversificado e instável o ambiente, maior deve ser a autonomia do robô.

O objetivo deste trabalho é propor um sistema de navegação autônoma, capaz de implementar um aprendizado evolucionário. Alguns trabalhos similares vêm sendo desenvolvidos, que utilizam somente robôs simulados [4] [5]. O principal diferencial é que, apesar dos experimentos ainda estarem na fase de uso do simulador, este representa um robô real que será usado nas etapas seguintes do trabalho.

Este trabalho está dividido da seguinte maneira: a Seção 2 descreve os paradigmas evolucionários que inspiram o sistema, a Seção 3 descreve a modelagem e a Seção 4, os experimentos realizados. Por fim, as considerações finais são apresentadas na Seção 5.

2. Sistemas Evolucionários

As bases teóricas para o desenvolvimento deste trabalho são duas abordagens pertencentes à computação evolucionária, conhecidas como "Sistemas Classificadores"(SC) e "Algoritmos Genéticos com Idades"(AGI). Esta corresponde a uma variação dos Algoritmos Genéticos (AG) tradicionais [6].

O conceito de SC foi originalmente proposto por Holland e consiste, basicamente, de uma metodologia

para criação e atualização evolutiva de regras em um sistema de tomada de decisão, que codifica alternativas de ações específicas para as características de um ambiente em determinado instante. Entende-se como "ambiente" modelos de problemas do mundo real, não-estacionários e normalmente de otimização e controle. A interação do SC com o ambiente ocorre através da troca de mensagens. As mensagens provenientes do ambiente procuram retratar o seu estado atual. Já as mensagens advindas do SC retratam ações a serem aplicadas sobre o ambiente. [7]

O AGI é uma proposta de implementação de um AG apresentada por [6], que propõe o uso de um aspecto o qual, a termos biológicos, tem importância incontestável: todos os organismos naturais nascem, se reproduzem e, cedo ou tarde, morrem. Desta forma é então introduzido o conceito de "idade" nos AG's e, de uma forma bastante simples, pois, no momento da criação é atribuído a cada indivíduo uma duração, a qual será proporcional a sua aptidão e é zerado um contador de idade; após cada geração é incrementada a idade de cada indivíduo sendo eliminados aqueles que tenham ultrapassado o seu limite de duração. A introdução da idade nos indivíduos componentes da população nos traz duas grandes vantagens:

Controle da pressão seletiva: o AGI torna supérflua parte da fase de seleção de reprodutores, evitando assim os inconvenientes a ela ligados. Por exemplo, uma seleção feita por roleta seria desnecessária, já que o mecanismo favorecedor dos indivíduos mais aptos é a própria idade (os mais aptos têm maior tempo de duração, permanecendo mais gerações na população e, conseqüentemente, participando de um número maior de processos reprodutivos do que os menos aptos).

Tamanho variável da população: o AGI incorpora todos os novos indivíduos gerados na reprodução e, em vez de ocorrer substituição, há simplesmente a eliminação dos indivíduos "velhos" (que ultrapassaram seu limite de duração), trazendo mais vantagens do que inconvenientes. Proporciona um mecanismo autorregulador do tamanho (idade) e mantém um bom nível de diversidade na população, pois os indivíduos menos aptos (em determinado instante) não serão eliminados tão drasticamente como no AG tradicional, e sim, como já foi dito, ao extrapolarem seu limite de vida.

3. Aprendizado Evolucionário

O sistema foi originalmente modelado e projetado para habilitar o robô, de forma autônoma, a evoluir seu conhecimento para executar a tarefa de navegação

autônoma em ambientes desconhecidos, construindo um conjunto de regras <situação-ação>. Assim, a arquitetura do sistema, apresentada na Figura 1, é constituída de quatro elementos básicos:

- Memória
- Execução
- Reprodução/Evolução
- Controle Populacional

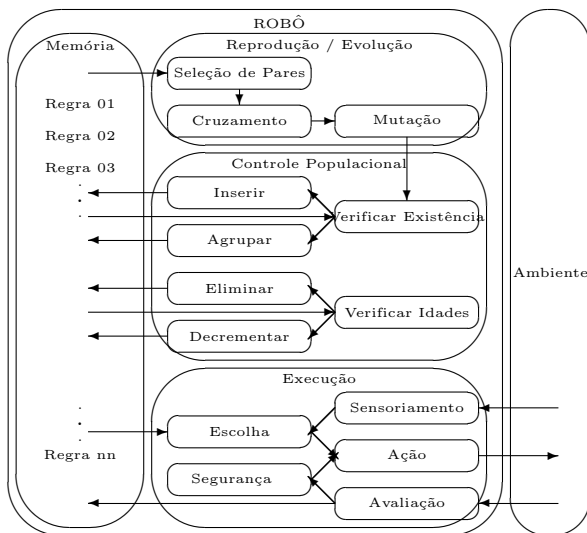


Figura 1: Arquitetura do Sistema.

3.1. Memória (Banco de Regras)

Armazena a população de regras. Como o objetivo é gerar um conjunto simplificado de regras, este é mantido em memória de trabalho, permitindo um acesso rápido durante todo o processo evolutivo. Este módulo aborda os seguintes tópicos:

Forma de Representação das Regras: cada regra é formada por uma cadeia de bits, utilizando um alfabeto binário {0,1}, formando o segmento "condição", representando uma situação captada pelos sensores, e o segmento "ação", que representa a ação a ser executada para a respectiva condição. Para a condição, cada sensor é representado por dois bits, permitindo avaliar 4 níveis de distância no sensoramento;

Representatividade da População Inicial: Uma dificuldade enfrentada é a escolha da regra mais adequada no início do processo. Se primeira geração de indivíduos em um AG é criada aleatoriamente, não

existe representatividade destes indivíduos em relação às situações que o ambiente possa apresentar. A alternativa encontrada foi gerar os primeiros indivíduos de forma que estes representem uma distribuição uniforme no espaço de busca. Porém, ainda assim, tem-se representatividade das situações de percepção, mas, as ações correspondentes a cada uma destas situações podem continuar a não fazer sentido algum.

Definição de Idade Inicial: as regras iniciam com idade igual a 100 (cem), permitindo fazer parte da população por várias gerações até serem requisitadas para uma ação;

Definição da Idade Máxima: poderá chegar à idade máxima de 1000 (mil), considerando que, todas as regras que ultrapassarem o limiar de 900 (novecentos), serão consideradas regras consolidadas (constituem o conjunto de regras necessárias à navegação);

A única exceção existente na memória é a incorporação prévia de uma regra, considerada instintiva, que prevê que quando todos os sensores estiverem desligados, a ação correspondente é seguir em frente.

3.2. Reprodução e Evolução

Implementa os principais operadores de um AG:

Seleção de Pares: sorteio com probabilidade uniformemente distribuída, da forma usada nos AGI's. A diferença do AGI padrão é que neste trabalho o atributo "idade", acaba também sendo utilizado como índice de adaptabilidade (fitness), porque ela pode ser incrementada e/ou decrementada de acordo com seu uso e desempenho;

Cruzamento: gera novos indivíduos a partir da recombinação das características dos pares selecionados, utilizando a estratégia de cruzamento uniforme;

Mutação: faz mudanças aleatórias nos novos indivíduos, garantindo diversidade genética;

3.3. Controle Populacional

Executa as seguintes tarefas:

Verificação de Existência: assim que o Módulo de Reprodução gera novos indivíduos e os transfere para o Controle Populacional, é efetuada uma consulta para verificar a existência, ou não, de um exemplar idêntico ao que foi gerado;

Inserir: caso não exista, ele é inserido na população;

Agrupar: se já existe um indivíduo igual na população, o novo exemplar não é inserido; mas o valor correspondente à idade inicial é somado ao atributo idade do indivíduo já existente. Nota-se que a geração

de regras já existentes faz com que se prolongue a permanência destas na base de conhecimento do robô;

Verificar Idade: após os períodos de Execução e Reprodução, é verificada a idade de todos os indivíduos, porque a estratégia de permanência das regras na base é fundamentada na aplicabilidade das mesmas, representada pela sua idade;

Decrementar: a cada período de uma geração, a idade de todos é decrementada;

Eliminar: exclui da população os indivíduos com idade nula, o que significa final da vida;

3.4. Execução

Responsável pela interação do robô com o ambiente, realizando as seguintes atividades:

Sensoriamento: faz a varredura nos sensores e monta a representação corrente do ambiente, que deve servir para comparações com as regras;

Escolha de Regras: executa uma consulta na Memória, para selecionar a regra mais ade-quada à situação obtida pelo Sensoriamento. O resultado desta consulta não é binário (*existe / não existe*), mas sim, um *índice de especificidade*, calculando o percentual de similaridade entre os sensores e os segmentos relativos à <situação> das regras. Isso permite encontrar/selecionar regras que possam também estar "próximas" da configuração do ambiente. Ou seja, é aplicada uma estratégia de escolha que implementa "generalização";

Ação: executa a ação através dos atuadores;

Avaliação: durante a execução da ação, o sistema recebe uma retro-alimentação para verificar se a respectiva ação obteve êxito, medindo a Satisfação/Insatisfação do robô. Esse processo utiliza os sensores de execução do robô, bem como sensores de curta distância (infravermelhos);

Segurança: com os dados obtidos pela avaliação, o sistema executa um controle de segurança básica, para não permitir que o robô possa ser destruído. Isto poderia ser visto como o instinto básico de sobrevivência, e deve evitar situações de alto-risco, como por uma colisão violenta, por exemplo.

3.5. Fluxo de Execução do Sistema

Após a criação da População Inicial, o sistema é estruturado em um ciclo contínuo, representado no algoritmo da figura (2), composto por três fases: Execução, Reprodução e Decremento de Idade.

Na primeira fase, o robô efetua uma série de 100 passos de deslocamento, cada qual composto por

<sensoriamento-escolha da regra-ação-avaliação>. Caso a avaliação necessite acionar a ação de segurança, a série é interrompida. A fase de reprodução gera novos indivíduos, de acordo com os limites populacionais e de novos indivíduos por geração. Caso o limite de tamanho da população tenha sido ultrapassados, a fase é anulada. A última fase ativa as funções de decremento de idade e remoção dos indivíduos que tenham alcançado o final de sua vida.

É interessante observar que este processo é contínuo e permanente, ou seja, enquanto o robô existir e estiver interagindo com o ambiente, novas regras estarão surgindo e regras obsoletas estarão sendo eliminadas - de forma totalmente autônoma.

```

Iniciar População de Regras aleatoriamente
Durante toda a vida do robô
  Para o Tempo/Número de Iterações
    Sentir o ambiente
    Selecionar a Regra mais Apropriada
    Executar a ação
    Avaliar/atribuir pontos
  Para o número de pares de regras a gerar
    Selecionar um par de reprodutores
    Efetuar cruzamento e gerar duas novas regras
    Realizar mutações nas regras geradas
    Inserir as regras geradas na população
    Verificar regras existentes
    Agregar idade ou inserir novas
  Para o número de regras da população
    Decrementar o tempo de vida
    Eliminar regras com tempo de vida igual a zero
```

Figura 2: Código Básico do Sistema Robótico.

4. Experimentos e Resultados

4.1. Ambiente Simulado

Foi criado um ambiente simulado, com duas configurações básicas: na primeira, existem somente as paredes laterais, formando um retângulo, e, na segunda, foi inserido um obstáculo adjacente à uma das laterais. O robô sempre inicia o processo no ponto central deste cenário, como mostram as figuras 3 e 4.

4.2. O Robô Nomad 200

O robô simulado no experimento foi um **Nomad 200**, o qual também existe um exemplar no Laboratório de Robótica Inteligente da UFRGS. É um sistema robótico móvel integrado, equipado com módulos

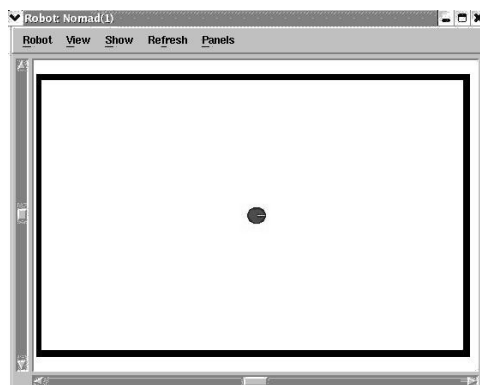


Figura 3: Ambiente sem Obstáculos

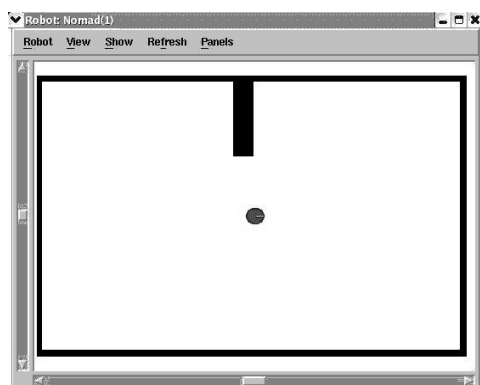


Figura 4: Ambiente com Obstáculos

sensoriais de infravermelho e ultra-som. Possui hardware dedicado ao controle dos sensores, dos motores e também para comunicação. Existe também um conjunto de software com uma interface gráfica e o simulador, que foi utilizado neste trabalho. É uma plataforma bastante interessante para ensinar e pesquisar a robótica e a inteligência artificial.

A base móvel do robô possui três motores, três rodas sincronamente guiadas em um sistema não holonômico com um raio de giro nulo, ou seja, pode girar em torno do seu centro. As rodas são direcionadas simultaneamente por um único motor e o robô só pode navegar para frente e para trás na direção de alinhamento indicado pelas rodas. O sistema de sonar é composto por 16 canais, fornecendo informações de proximidade que variam de 43,18cm (17") até 6,477m (255"). Os sensores de infravermelho formam um sistema de 16 canais, com alcance de até 60,96cm (14"), dependendo das condições do ambiente.

4.3. Sem Obstáculos

Nos experimentos sem obstáculos, o robô inicia o processo vagando aleatoriamente pelo cenário (figura abaixo), mostrando que ainda não possui conhecimento consolidado para a execução da tarefa de navegação e acompanhamento de paredes.

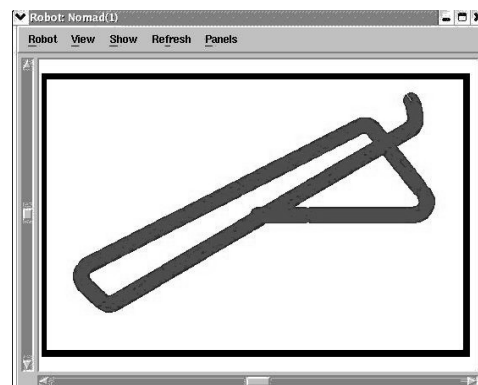


Figura 5: Início do Processo - sem Obstáculos

Com o passar do tempo (normalmente, após 150 a 180 gerações), escolha, aplicação e respectivas avaliações, o conjunto de regras consolidadas vai se formando e o comportamento do robô melhora consideravelmente, como mostra a figura (6).

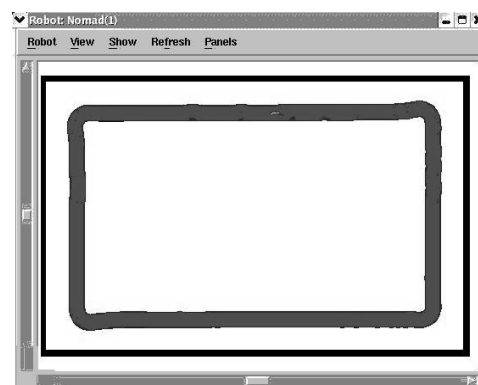


Figura 6: Processo Estabilizado - sem Obstáculos

4.4. Com Obstáculos

Assim como nos experimentos anteriores, o robô inicia sem um comportamento adequado à tarefa designada. Como neste caso a complexidade é maior, ele

necessita um maior número de gerações para convergir e construir a base de regras. Esse aumento de complexidade origina-se no fato de que no ambiente esparsa, existem somente curvas fechadas (realizadas distanciando-se das paredes) e, quando é inserido o obstáculo, é necessário realizar também curvas abertas (aproximando-se das paredes).

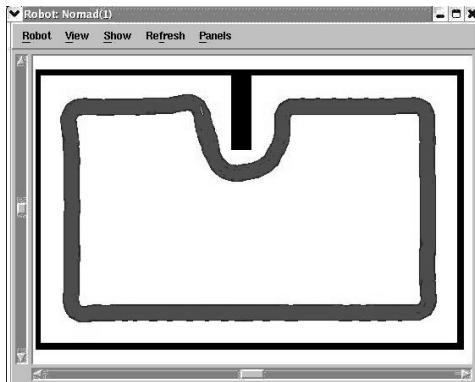


Figura 7: Processo Estabilizado - com Obstáculos

5. Considerações Finais

Os resultados apresentados neste trabalho mostram que, mesmo iniciando sem qualquer aptidão definida, um sistema de aprendizagem evolucionária é capaz de habilitar um robô móvel para executar a tarefa de navegação autônoma, conseguindo desviar obstáculos e, também, acompanhar paredes (wall-following).

As regras relevantes, incorporadas à base de conhecimento, formam um pequeno conjunto, mostrando que é possível generalizar situações similares onde é executada uma mesma ação. Este conjunto de regras consolidadas manteve relativa estabilidade durante as diversas execuções, tanto em número de regras, quanto nas situações registradas.

Um comentário considerado de importância fundamental em estudos em RE é se o processo de evolução do sistema de controle é desenvolvido em ambientes simulados ou em robôs reais. Normalmente, ao se utilizar um processo de simulação, por mais que sejam inseridos ruídos e algum comportamento aleatório ao ambiente, este jamais se apresentará como totalmente não determinístico. Se o pesquisador recorre à simulação, o perigo é que a evolução pode explorar generalizações e abstrações da simulação.

Nas perspectivas para trabalhos futuros está o uso

do próprio Robô Nomad200. Acredita-se que pelo fato de estar utilizando especificamente este equipamento, não haverá diferenças muito significativa nos resultados da simulação e com o robô real, visto que o simulador utilizado consegue reproduzir com grande acuracidade o comportamento dos sensores e atuadores do Nomad200. Isso pode ser confirmado pelos trabalhos prévios já realizados no LRI [8] [9]. Outro objetivo futuro é o uso de múltiplos robôs que, construindo individualmente seu conhecimento, também participem de um processo evolutivo onde, na fase de cruzamento, são intercambiadas as regras já consolidadas nas memórias dos respectivos reprodutores, gerando robôs ainda mais aptos à execução da tarefa em questão.

Referências

- [1] D. Nolfi, S.; Floreano. Learning and evolution. *Autonomous Robots*, 7(1):89–113, 1999.
- [2] Dario Floreano. Evolutionary mobile robotics. In C. Poloni Quagliarelli, J. Periaux and G. Winter, editors, *Genetic Algorithms in Engineering and Computer Science*. Chichester: John Wiley and Sons, Ltd., 1997.
- [3] D. Floreano. *Interview on Evolutionary Robotics*. Conducted by M. Kelly and G. Robertson for EvoNews, 1997.
- [4] M. F. Cazangi, R. R.; Figueiredo. Sistema autônomo inteligente baseado em computação evolutiva aplicado à navegação de robôs móveis. In *V Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente*, 2001.
- [5] Rajakaruna Chamindra. Obstacle avoidance in a mobile robot using the learning classifier, 2003.
- [6] Z. Michalewicz. *Genetic Algorithms+Data Structures=Evolution Programs*. Springer, 1996.
- [7] L. Bull. *Applications of Learning Classifier Systems*. Springer, 2004.
- [8] Edson et al. Prestes. Exploration method using harmonic functions. *Robotics and Autonomous Systems*, 40(1):25–42, 2002.
- [9] Edson Prestes. *Navegação Exploratória baseada em Problemas de Valores de Contorno*. PhD thesis, Instituto de Informática – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre (RS), Brasil, 2003.