

# Desenvolvimento de um Sistema de Visão Artificial para um Robô Explorador

Joildo Schueroff<sup>1</sup>, Fernando Emilio Puntel<sup>1</sup>, Giann Carlos Spilere Nandi<sup>1</sup>,  
Anderson Luiz Fernandes Perez<sup>1</sup>, Elder Dominghini Tramontin<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Laboratório de Automação e Robótica Móvel  
Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)  
88.900-000 – Araranguá – SC – Brazil

joildoschueroff@gmail.com, fernandopuntel@gmail.com,  
giannnandi@gmail.com, anderson.perez@ufsc.br, elderdtramontin@gmail.com

**Abstract.** *This paper describes an artificial vision system for a robot explorer indoor and outdoor environments. The system is based on the visual information read from a camera placed on top of the robot. Images are processed in order to calculate the trajectory of the robot to a mapped object, based on the calculated trajectory the system determines a new positioning for robot.*

**Resumo.** *Neste artigo é descrito um sistema de visão artificial para um robô explorador de ambientes indoor e outdoor. O sistema é baseado nas informações visuais lidas a partir de uma câmera posicionada na parte superior do robô. As imagens são processadas com o objetivo de calcular a trajetória do robô até um objeto mapeado, com base na trajetória calculada o sistema determina um novo posicionamento para robô.*

## 1. Introdução

O uso de robôs móveis pode ser uma alternativa quando o tipo de atividade a ser executada possa colocar em risco a vida humana (Brunner, Bruggemann et al. 2012). Desta forma, robôs vêm sendo utilizados para substituir os seres humanos em tarefas consideradas perigosas, repetitivas ou até mesmo estressantes (Kanehiro, Yoshida et al. 2012).

Um robô móvel tem como objetivo explorar um ambiente seja ele *indoor* ou *outdoor* a procura de objeto ou objetos específicos. Este tipo de robô deve ser dotado de um sistema de visão artificial que seja robusto o suficiente para que o robô consiga identificar o objeto ao qual procura. Por exemplo, robôs para auxiliar pessoas com alguma deficiência (Betke, Gips et al. 2002), para auxiliar um motorista na condução de um veículo (Stein 2012) ou até mesmo para detectar e desarmar minas terrestres (Gader, Keller et al. 1998).

Um sistema de visão artificial deve ser capaz de captar e processar imagens provenientes de uma câmera a fim de encontrar padrões que possam ser utilizados para identificar um ou mais objetos presentes no ambiente. Um robô móvel equipado com um sistema de visão artificial é de grande utilidade, uma vez que o robô pode tomar decisões baseadas nas informações visuais recebidas e processadas.

Neste trabalho será descrito um sistema de visão artificial para um robô explorador de ambientes *indoor*<sup>1</sup> e *outdoor*<sup>2</sup>. O robô explorador foi desenvolvido no Laboratório de Automação e Robótica Móvel da Universidade Federal de Santa Catarina em Araranguá. O robô é dotado de sensores de ultrassom e uma câmera montada sobre um servo motor. O sistema de visão apresentado tem como objetivo localizar um alvo (objeto) pré-determinado e fazer com que o robô manobre no ambiente para manter o objeto sempre no foco da câmera.

Este artigo está organizado em mais 4 (quatro) seções, onde: na Seção 2 são descritas as principais características do robô explorador; a Seção 3 descreve o sistema de visão artificial do robô explorador; na Seção 4 são apresentados os resultados dos experimentos realizados com o sistema de visão artificial desenvolvido; na última seção, a Seção 5, são feitas as considerações finais do trabalho.

## 2. Descrição do Robô Explorador

O robô explorador é baseado em uma caminhonete de controle remoto e foi projetado para atuar em ambientes *indoor* ou *outdoor*. É dotado de uma câmera do tipo *webcam*, um servo motor que muda a direção da câmera, responsável pela captura das imagens do ambiente, 6 (seis) sensores de ultrassom, que detectam a proximidade do robô a algum objeto presente no ambiente, evitando assim o choque com obstáculos e 2 (dois) motores, um motor de corrente contínua responsável pela tração do robô, montado na parte traseira, e um motor de passo nas rodas dianteiras responsável pela direção do robô.

A Figura 1 ilustra a imagem do robô explorador onde é possível perceber o posicionamento da câmera e dos sensores de ultrassom.



**Figura 1.** Imagem do Robô Explorador

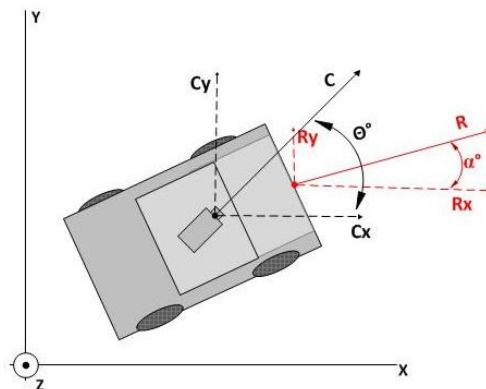
---

<sup>1</sup> Ambiente conhecido *a priori*.

<sup>2</sup> Ambiente no qual o robô não possui qualquer informação. Ambiente desconhecido.

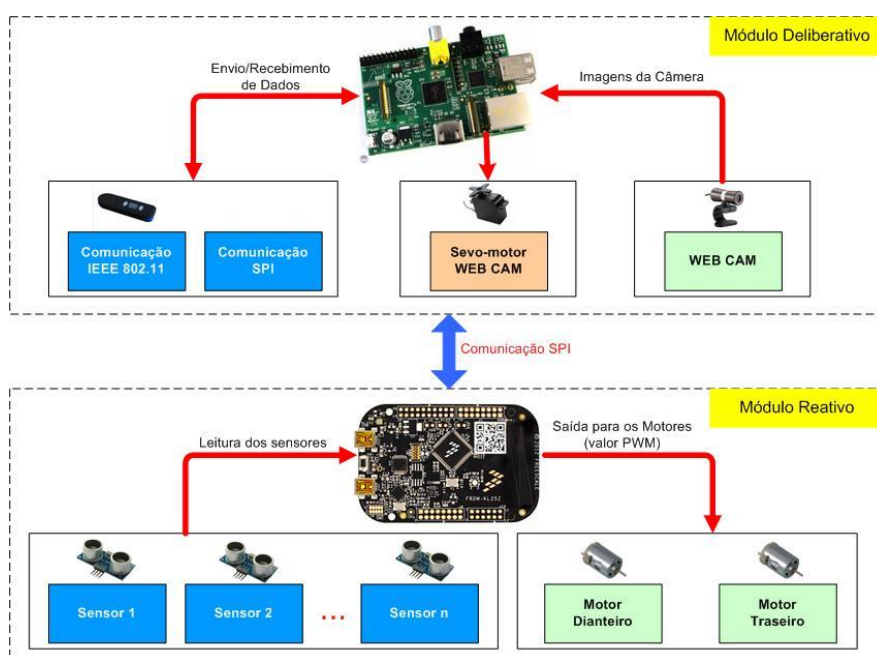
A navegação do robô é baseada nas informações visuais recebidas pela câmera e também pelas informações provenientes dos sensores de ultrassom. O objetivo da navegação visual é permitir que o robô siga um determinado objeto, desta forma, conforme o objeto se movimenta no ambiente o robô também se movimentará, mantendo o objeto sempre no alvo ou seja, no foco da câmera. Caso o sistema não encontre o objeto identificado, o servo motor se movimentará fazendo uma varredura no ambiente.

A Figura 2 ilustra o modelo cinemático do robô explorador onde é possível observar os deslocamentos tanto do robô como do servo motor de posicionamento da câmera, nos eixos  $x$  e  $y$ , bem como os ângulos de movimentação.



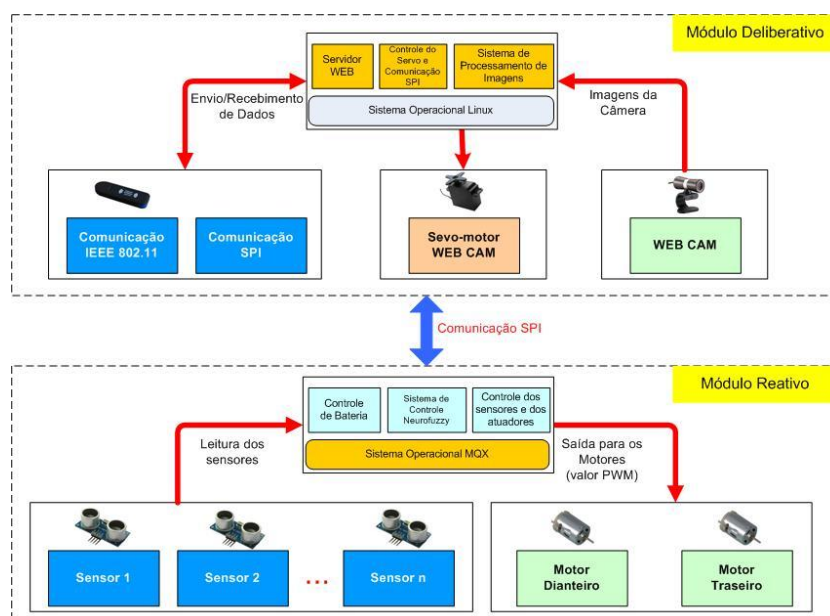
**Figura 2.** Modelo cinemático do robô explorador

Devido à complexidade do projeto do robô explorador, seu hardware é composto de dois módulos, sendo cada um responsável por uma etapa do controle do robô. O primeiro módulo, onde acontece o processamento da imagem, é chamado de módulo Deliberativo. O segundo, chamado de módulo Reativo, é responsável pela leitura dos sensores de ultrassom e o controle dos atuadores e efetadores dos robôs. A Figura 3 ilustra a arquitetura de hardware do robô explorador onde é possível observar os módulos Deliberativo e Reativo.



**Figura 3.** Arquitetura de Hardware do robô explorador

A Figura 4 ilustra a arquitetura de controle de software desenvolvida para o robô explorador. Esta arquitetura, assim como a arquitetura de hardware, é baseada em dois níveis de controle, sendo o primeiro, o nível Deliberativo, responsável pelo processamento das imagens provenientes da câmera e o segundo nível, o Reativo, responsável pela interpretação dos sinais recebidos pelos sensores de ultrassom e o controle dos motores.



**Figura 4.** Arquitetura de Software controle do robô explorador

O módulo Deliberativo é composto por uma placa do tipo *Raspberry Pi* equipada com microcontrolador ARM 11 de 32 bits. O sistema operacional deste módulo é uma variante do Linux portada para a arquitetura do *Raspberry Pi* (Upton and

Halfacree 2012). Neste módulo acontece o processamento de imagens e o controle do servo motor responsável por direcionar a câmera em direção ao objeto alvo.

A comunicação entre o módulo Reativo e o módulo Deliberativo é realizada via protocolo SPI (*Serial Peripheral Interface*). A Seção 3 descreve em detalhes o sistema de visão que está embarcado no módulo Deliberativo.

### **3. Descrição do Sistema de Visão Artificial Desenvolvido para o Robô Explorador**

Para (Geronimo, Serrat et al. 2013) sistemas de visão artificial visam o processamento de imagens fixas e sequência de vídeos, e seus exemplos podem incluir reconhecimento, reconstrução de dados dos mais diversos possíveis, entre outros.

O sistema de visão artificial do robô explorador é baseado em uma *webcam* que faz a captura das imagens e está fixada a um servo motor que faz a varredura em busca do objeto padronizado inicialmente durante a configuração do sistema. O *Raspberry Pi* é responsável pelo processamento das imagens recebidas pela *webcam* controlando o posicionamento do servo motor conforme o deslocamento do objeto no ambiente.

O sistema de visão artificial do robô explorador é baseado no ROS (*Robot Operating System*), um framework de construção de sistemas robóticos que pode ser usado nas mais diversas aplicações de software (Garage 2010), e na biblioteca OpenCV (*Open Source Computer Vision Library*) (Bradski and Kaehler 2008), que oferece as mais variadas funções para manipulação e o processamento de imagens digitais.

Com a informação da visão, um robô pode ter a percepção do ambiente e executar tarefa complexas. No entanto, para robôs móveis, é difícil de adquirir imagens claras e adequadas de um ambiente, com um sistema de visão de rastreamento é uma das melhores soluções para amenizar essa dificuldade na localização de objetos (Wook, Jaehong et al. 2011).

Uma imagem digital basicamente é uma matriz de *pixels* (*picture elements*), cada qual contendo valores de intensidade das 3 (três) cores básicas: azul, verde e vermelho. Para realizar o reconhecimento de padrões, primeiramente é realizada a binarização da imagem que consiste em gerar uma nova matriz do mesmo tamanho da imagem original baseando-se na análise *pixel a pixel* resultando no valor “1” caso os valores de RGB estejam dentro de um intervalo específico e no valor “0” caso estejam fora deste intervalo.

O sistema de visão artificial é responsável por processar as imagens capturadas pela câmera para calcular o ângulo e a posição que o objeto rastreado se encontra do robô. Essas informações são necessárias para controlar o servo motor da câmera e também são enviadas via SPI para o módulo reativo que aciona os motores do robô a fim de posicioná-lo de frente ao objeto rastreado.

É importante salientar que o nível Deliberativo recebe do nível reativo informações sobre o nível de carga da bateria do robô. Essa informação da bateria pode ser acessada por um usuário externo via internet pois o nível Deliberativo possui um servidor *web* que pode ser acessado para que, eventualmente, alguém controle o robô remotamente ou para visualizar o nível de bateria do mesmo. A Figura 5 ilustra a interface do controle remoto do robô explorador.



**Figura 5.** Interface do sistema de controle remoto do robô explorador

Os dados que o usuário poderá obter são: velocidade do motor traseiro, ângulo do motor de passo dianteiro, último comando executado e a quantidade de carga da bateria, além dos botões de controle de direção do robô.

#### 4. Avaliação do Sistema de Visão Artificial

Para avaliar a eficácia do sistema de visão artificial foram realizados 2 (dois) experimentos sendo o primeiro a busca de um objeto de cor específica e o segundo a busca de um objeto com um formato específico.

Para ambos os experimentos realizados foi utilizado um frame com resolução de  $172 \times 140$  pixels, onde 172 representa o tamanho horizontal da figura e 140 o tamanho vertical, ou seja, 172 representa o eixo  $x$  e 140 o eixo  $y$ . A resolução máxima suportada pelo sistema de visão está limitada a qualidade da câmera utilizada.

Os experimentos foram realizados com esse padrão devido ao custo computacional necessário para fazer a varredura dos dados do *frame*. As técnicas utilizadas nos experimentos foram a binarização, juntamente com padrões matemáticos de cálculos de circunferência e a área de circunferência, e a técnica de cálculo sobre máscaras, ou seja, processo orientado a vizinhança e reconhecimento de borda dos objetos.

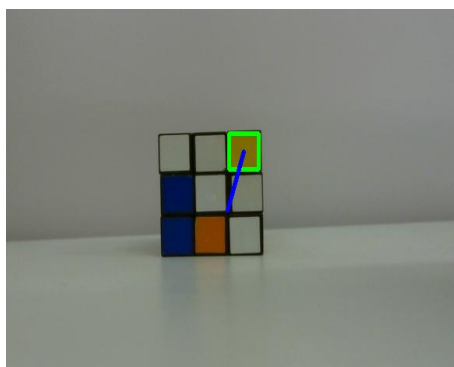
##### 4.1 Experimento 1 – Busca de um Objeto com uma Cor Específica

Este experimento teve como objetivo a localização de um quadrado de cor amarela em um cubo de Rubik. Durante o experimento um quadrado de cor amarela foi colocado em posições diferentes a fim de testar a efetividade do sistema de visão e da localização do alvo pela câmera.

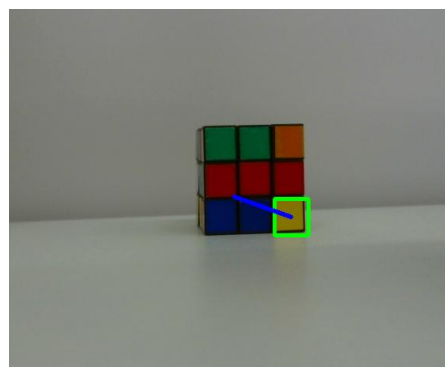
O cubo de Rubik foi utilizado por apresentar uma boa variedade de cores a pequenas distâncias, provando a capacidade de identificação de objetos do sistema. Para realizar o reconhecimento de padrões, primeiramente é realizada a binarização da imagem.

A Figura 6 e a Figura 7 ilustram, respectivamente, a posição do quadrado de cor amarela em dois testes realizados durante o experimento. Nas figuras percebe-se uma

borda verde no quadrado amarelo indicando que o sistema de visão detectou o alvo e o está perseguindo, ou seja, caso o objeto se movimente o sistema de visão fará com que a câmera se movimente também visando manter o foco no objeto que se está perseguindo. A linha azul projetada nas figuras representa o vetor do centro da imagem em relação ao centro do padrão detectado.



**Figura 6.** Primeiro teste de detecção do objeto no experimento (1)



**Figura 7.** Segundo teste de detecção do objeto no experimento (1)

O gráfico da Figura 8 ilustra os dados de angulação determinados pelo sistema de visão para a movimentação do servo motor responsável por reposicionar a câmera (*webcam*).



**Figura 8.** Gráfico de posições passadas para o servo motor

## 4.2 Experimento 2 – Busca de um Objeto com um Formato Específico

Esse experimento teve como objetivo buscar objetos de formato específico em uma imagem, neste caso o objeto procurado era um círculo. Para tanto, é verificado o tamanho dos objetos captados.

A Figura 9 e a Figura 10 ilustram os resultados de dois testes realizados durante o experimento. Nas figuras é possível observar que o sistema de visão identificou objetos circulares de diferentes tamanhos na imagem capturada.



**Figura 9.** Resultado do primeiro teste do experimento (2)



**Figura 10.** Resultado do segundo teste do experimento (2)

O método utilizado foi baseado no cálculo de circunferência e a área de circunferência juntamente com a aplicação de máscaras e a detecção de bordas dos objetos buscados.

## 5. Considerações Finais

A visão artificial provê um importante recurso para os robôs móveis. Com informações visuais é possível que o robô consiga encontrar determinados tipos de objetos no sistema e até mesmo tomar decisões de controle baseado nas informações visuais recebidas pela câmera.

Neste artigo foi descrito um sistema de visão artificial para um robô explorador. O robô explorador é formado por dois módulos de controle, sendo o primeiro o módulo Deliberativo e o segundo o módulo Reativo. O sistema de visão artificial é executado no módulo Deliberativo e é responsável por fazer com que o robô mantenha o foco da câmera em um objeto pré-determinado.

Foram realizados dois experimentos para avaliar a eficiência do sistema de visão artificial desenvolvido. O primeiro experimento avaliou a eficiência do sistema na detecção de um objeto de cor específica e o segundo avaliou a eficiência do sistema na identificação de um objeto de formato específico.

Os resultados obtidos com o sistema de visão artificial demonstraram que o robô identificou o objeto alvo em diferentes situações e gerou um novo posicionamento para o servo motor de controle da câmera e os motores de controle de direção e velocidade, fazendo com que o robô se posicionasse de maneira correto em direção ao objeto mapeado.

Como trabalhos futuros pretende-se desenvolver uma versão do sistema de visão artificial com redes neurais artificiais.



## Agradecimentos

Os autores, Fernando Emilio Puntel, Joildo Schueroff, Giann Carlos Spilere Nandi e Elder Dominghini Tramontin, agradecem a Universidade Federal de Santa Catarina pela bolsa de estudos.

## Referências

- Betke, M., J. Gips, et al. (2002). "The Camera Mouse: visual tracking of body features to provide computer access for people with severe disabilities." Neural Systems and Rehabilitation Engineering, IEEE Transactions on **10**(1): 1-10.
- Bradski, G. and A. Kaehler (2008). Learning OpenCV: Computer vision with the OpenCV library, O'reilly.
- Brunner, M., B. Bruggemann, et al. (2012). Motion planning for actively reconfigurable mobile robots in search and rescue scenarios. Safety, Security, and Rescue Robotics (SSRR), 2012 IEEE International Symposium on.
- Gader, P., J. M. Keller, et al. (1998). Landmine detection using fuzzy sets with GPR images. Fuzzy Systems Proceedings, 1998. IEEE World Congress on Computational Intelligence., The 1998 IEEE International Conference on.
- Garage, W. (2010). Robot Operating System (ROS).
- Geronimo, D., J. Serrat, et al. (2013). "Traffic Sign Recognition for Computer Vision Project-Based Learning." Education, IEEE Transactions on **56**(3): 364-371.
- Kanehiro, F., E. Yoshida, et al. (2012). Efficient reaching motion planning and execution for exploration by humanoid robots. Intelligent Robots and Systems (IROS), 2012 IEEE/RSJ International Conference on.
- Stein, F. (2012). The challenge of putting vision algorithms into a car. Computer Vision and Pattern Recognition Workshops (CVPRW), 2012 IEEE Computer Society Conference on.
- Upton, E. and G. Halfacree (2012). Raspberry Pi User Guide, John Wiley & Sons.
- Wook, B., P. Jaehong, et al. (2011). A motion-information-based vision-tracking system with a stereo camera on mobile robots. Robotics, Automation and Mechatronics (RAM), 2011 IEEE Conference on.