

# DESENVOLVIMENTO DE UM ROBÔ EXPLORADOR BASEADO EM UMA ARQUITETURA HÍBRIDA DE HARDWARE

Anderson Luiz Fernandes Perez, Fernando Emilio Puntel,  
Giann Carlos Spileri Nandi, Joildo Schueroff, Elder Dominghini Tramontin

*Abstract*— This paper describes the design and development of a mobile robot for exploration of indoor and outdoor environments. The rover consists of a modular hardware and software. The hardware is designed by a hybrid manner with two levels of controls, the first level consists of a Raspberry PI platform that is responsible for images processing from a camera, the second level consists of a Freescale Freedom Board platform that is responsible for reading the sensors and control the actuators. The control software is separated into deliberative module, which runs on Linux on Raspeberry PI, and reactive module that runs on the MQX operating system on Freedom Board. Both modules communicate via SPI protocol.

## I. INTRODUÇÃO

Há alguns anos, a robótica era associada somente aos braços manipuladores, empregados na construção de algum bem de consumo, tais como os robôs soldadores utilizados nas montadoras de veículos. Esta visão do “robô industrial” vem sendo modificada ano após ano, pois é cada vez mais comum interagirmos com robôs em nosso dia a dia, por exemplo, o robô aspirador de pó Roomba ou o robô cão Aibo da Sony.

Devido a esta nova era da robótica onde robôs são construídos para as mais diversificadas tarefas, desde a exploração espacial [1] até o acompanhamento de pessoas com necessidades especiais [2], o projeto e a construção de tais robôs torna-se mais complexo.

Dependendo do problema ao qual o robô irá atuar, o projeto do software também se torna complexo, pois é possível que o robô tenha que executar algumas funcionalidades de maneira concorrente. Desta forma, o uso de um sistema operacional embarcado é importante, sobretudo porque o programador se preocupará somente com os aspectos funcionais do programa, ficando a cargo do sistema operacional o interfaceamento com o hardware do robô.

Os robôs atuais executam diversas tarefas, portanto necessitam de maior capacidade de processamento que seus antecessores. Neste artigo será descrito o projeto de um robô para exploração de ambientes *indoor* e *outdoor*. A navegação do robô é baseada nas informações captadas por uma câmera

que então são processadas com o objetivo de definir novas tarefas ao robô.

Este artigo está organizado como segue: na Seção II é descrito em detalhes o projeto do robô explorador, para uma melhor compreensão optou-se por descrever separadamente as arquiteturas de hardware e de software; a Seção III descreve os resultados preliminares do sistema de processamento de imagens do robô explorador; na Seção IV são feitas alguns considerações sobre o projeto do robô explorador, bem como uma descrição sucinta dos trabalhos futuros.

## II. DESCRIÇÃO DO ROBÔ EXPLORADOR

O robô explorador é projetado tanto para atuar em ambientes *indoor*, ou seja, em ambientes conhecidos, como uma casa, um edifício, um corredor etc., como em ambientes *outdoor*, ou seja, ambientes que a priori não se tem controle, tais como um gramado, uma rua, etc.

O robô explorador é baseado em um carrinho de controle remoto modelo caminhonete, onde estão sendo adaptados todos os circuitos eletrônicos responsáveis pelo controle do robô. A Figura 1 ilustra uma foto do modelo da caminhonete de controle remoto utilizada como base para o robô explorador.



Figura 1. Modelo da caminhonete utilizada no robô explorador

Originalmente a caminhonete de controle remoto era constituída por dois motores de corrente contínua, um para controlar a direção das rodas dianteiras (direita e esquerda) e outro para controlar as rodas traseiras (seguir em frente ou recuar, dar a ré). Entretanto, para se ter mais precisão no controle das rodas dianteiras, o motor de corrente contínua foi substituído por um motor de passo bipolar.

O robô é dotado de uma câmera do tipo webcam, responsável pela captura das imagens do ambiente e alguns sensores de ultrassom, que detectam a proximidade do robô a

Os autores Anderson Luiz Fernandes Perez (email: anderson.perez@ufsc.br), Fernando Emilio Puntel (email: fernandopuntel@gmail.com) Giann Carlos Spileri Nandi (email: giannnandi@gmail.com), Joildo Schueroff (email:joildoschueroff@gmail.com) e Elder Dominghini Tramontin (elder10010@hotmail.com), são vinculados ao Laboratório de Automação e Robótica Móvel da Universidade Federal de Santa Catarina – Campus Araranguá.

algum objeto presente no ambiente, evitando assim o choque com obstáculos.

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.

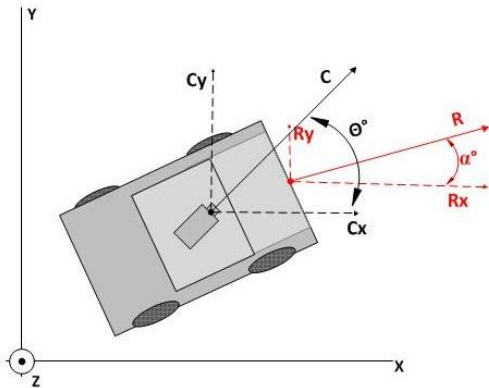


Figura 2. Modelo cinemático do robô explorador

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.

O controle de robôs móveis baseado em informações visuais é muito utilizado em robótica móvel. O trabalho de [3] apresenta um estudo comparativo de várias metodologias de navegação visual em um robô aéreo quadrimotor. A indústria automobilística também tem interesse nesta área para dotar os veículos automotores de maior segurança, permitindo que o motorista tenha mais recursos na tomada de decisões, sobretudo aquelas onde há maior risco de acidentes.

As Seções A e B descrevem, respectivamente, o projeto do hardware e o projeto do software do robô explorador.

### A. Descrição do Hardware do Robô Explorador

Devido a 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.

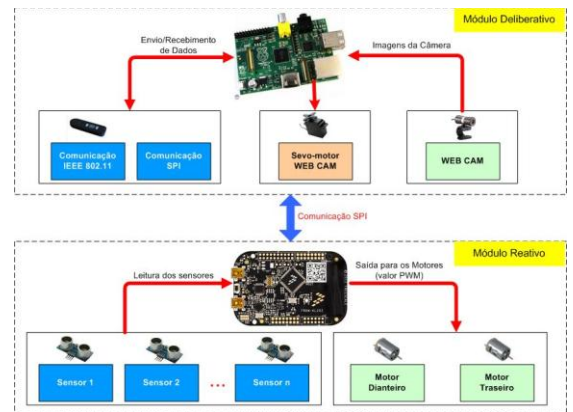


Figura 3. Arquitetura de hardware do robô explorador

O módulo Deliberativo é composto por uma placa do tipo Raspberry PI modelo B [4], responsável pelo processamento das informações captadas do ambiente pela câmera, pelo controle do servo motor onde a câmera está fixada e outras tarefas responsáveis pelo controle de alto nível do robô. A Figura 4 ilustra uma foto de uma placa Raspberry PI modelo B.



Figura 4. Raspberry PI modelo B

O Raspberry PI modelo B pode ser considerado um computador de baixo custo. É dotado de um processador da família ARM de 32 bits com clock de 700 MHz, 512 MB de memória RAM, interfaces RCA, HDMI, Ethernet e uma interface para cartão do tipo SD, onde é possível instalar o sistema operacional. O Raspberry PI também conta com portas de entrada e saída, GPIO (*General Purpose Input/Output*).

O módulo Reativo é composto por uma placa do tipo Freedom Board da Freescale [5] (ilustrada na Figura 5), onde é executado o sistema operacional MQX. Esta placa é responsável por todo o processamento e controle de baixo nível do robô, tais como: leitura de sensores e envio de informações aos atuadores e efetadores.



Figura 5. Freedom board - Cortex M0+

A placa Freedom Board possui um processador ARM Cortex M0+ de 32 bits com 48 MHz de processamento, com portas de entrada e saída (GPIO), algumas com modulação PWM (*Pulse Width Modulation*), 128 KB de memória flash e 16 KB de memória SRAM. Também conta com uma interface SDA para depuração *in-circuit*.

A divisão do sistema de controle do robô em dois módulos foi necessária devido à necessidade de execução das várias tarefas de controle. É importante salientar, conforme consta na Figura 3, que os módulos Deliberativo e Reativo irão se comunicar via protocolo SPI (*Serial Peripheral Interface*), um protocolo fio a fio implementado na interface de entrada e saída de ambas as placas (Raspberry PI e Freedom Board).

### B. Descrição do Software do Robô Explorador

Conforme descrito na Seção A o hardware do robô é formado por dois módulos, sendo o primeiro composto por uma placa do tipo Raspberry PI modelo B e o segundo por uma placa do tipo Freedom Board da Freescale. Cada módulo é responsável por uma etapa do controle do robô, desta forma, o sistema de controle também é modularizado, conforme ilustra a Figura 6.

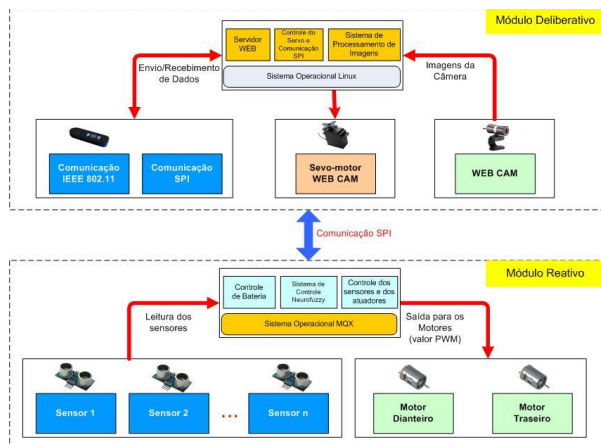


Figura 6. Arquitetura de software do robô explorador

O módulo Deliberativo possui um sistema operacional Linux, a distribuição Weezy configurada para o Raspberry PI. Neste módulo são executadas três tarefas, sendo a principal o sistema de processamento de imagens, onde são processadas todas as imagens provenientes de uma câmera; a segunda tarefa é o controle do servo e da comunicação SPI que é responsável por reposicionar o servo de acordo com as coordenadas fornecidas pelo sistema de processamento de imagens e também enviar e receber dados via protocolo SPI para/do módulo Reativo; a terceira tarefa é um servidor WEB que fica ativo para que um usuário possa enviar comandos remotamente para o robô via rede 802.11 (rede sem fio).

Para melhor organizar o sistema de controle existente no módulo Deliberativo foi escolhido o framework ROS (*Robot Operating System*) [6] que implementa diversos algoritmos

para o controle, localização e mapeamento em robótica móvel. Tanto o controle do servo motor de rotação da câmera, como todo o processamento de imagens, são implementados como nós do ROS.

O módulo Reativo é gerido pelo sistema operacional MQX onde também são executadas três tarefas, sendo a primeira o sistema de controle principal deste nível, um sistema neurofuzzy [7] que é baseado em uma rede neural do tipo Perceptron de Múltiplas Camadas com o ajuste de sua saída baseado em um sistema Fuzzy, esta tarefa é responsável por receber as informações provenientes do protocolo SPI com o módulo Deliberativo, bem como informações das tarefas “controle da bateria” e “controle dos sensores e dos atuadores”.

A tarefa “controle de bateria” é responsável por monitorar a carga da bateria do robô, dependendo do nível de carga de bateria algumas funcionalidades podem ser desativas. Já a tarefa “controle dos sensores e dos atuadores” é responsável por ler os dados provenientes dos sensores de ultrassom e os repassar ao controle neurofuzzy, este por sua vez, irá determinar uma saída para os atuadores que é basicamente formada pela direção e a velocidade do robô.

O sistema operacional MQX [8] foi escolhido por ser robusto e confiável e consumir pouco processamento. O MQX é um sistema operacional embarcado desenvolvido pela empresa *Embedded Access Inc*, e é distribuído gratuitamente para usuários de produtos da Freescale.

O MQX é um sistema operacional de tempo real, multitarefa preemptivo, com os algoritmos de escalonamento de tarefas Round Robin e FIFO (*First In, First Out*), implementa também mecanismos de sincronização de tarefas baseados em semáforos, mutex e mensagens.

O robô explorador está em fase de construção no Laboratório de Automação e Robótica Móvel da Universidade Federal de Santa Catarina. Entretanto, na Seção III será descrito um experimento realizado com o sistema de processamento de imagens que será utilizado pelo robô explorador.

### III. RESULTADOS DO SISTEMA DE VISÃO DO ROBÔ EXPLORADOR

O sistema de processamento de imagens do robô explorador foi desenvolvido com o uso da biblioteca OpenCV (*Open Computer Vision Library*) [9], que dispõe de um conjunto de funções para aplicações em computação gráfica e processamento de imagens.

O principal objetivo do sistema de visão é manter sob o foco da câmera um determinado objeto. Para tanto, ao localizar o objeto, o sistema de visão informa o sistema de controle do robô a posição (coordenadas x e y) do objeto. Este por sua vez, irá calcular a nova posição do robô que será traduzida em comandos para os atuadores que serão executados no módulo Reativo.

A Figura 7 ilustra o funcionamento do sistema de visão após localizar um objeto de uma determinada cor.

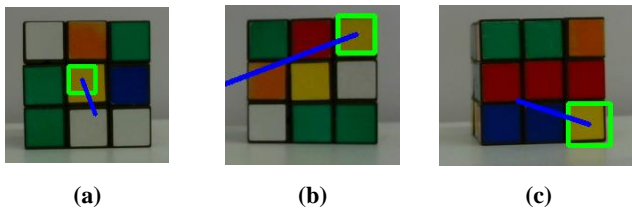


Figura 7. Exemplo de localização de um objeto baseado na cor

Com o objetivo de avaliar o sistema de visão foi escolhido como objeto a ser seguido pelo robô um quadrado de cor amarela de um cubo de Rubik. No exemplo ilustrado na Figura 7 (a) percebe-se que o sistema de visão identificou o quadrado no centro de uma das faces do cubo. Na Figura 7 (b), o quadrado amarelo foi localizado no canto superior direito do cubo e na Figura 7 (c) no canto inferior direito.

O objetivo do sistema de visão é identificar o quadrado de cor amarela e manter o foco da câmera sobre ele (vide moldura verde delimitando a área do quadrado amarelo). Como a câmera está fixada sobre um servo motor, é possível que esta seja movimentada lateralmente, ou seja, movimentos de pan (sentido horizontal).

Vale ressaltar que o sistema de visão do robô pode perder o desempenho, ou seja, caso haja uma interferência na luminosidade do ambiente ele pode não localizar o objeto, mesmo este estando no foco da câmera. Para resolver tal problema, é proposto utilizar alguma técnica de filtragem de dados para estabilizar a qualidade da informação, tal como no trabalho de [10].

#### IV. CONSIDERAÇÕES FINAIS E TRABALHOS FUTUROS

Neste artigo foi descrito o projeto de um robô explorador para ambientes indoor e outdoor que está sendo desenvolvido no Laboratório de Automação e Robótica Móvel na Universidade Federal de Santa Catarina - Campus Araranguá.

O robô explorador possui navegação baseada em informações visuais onde é possível marcar um determinado alvo para que o robô o siga. Com o objetivo de tornar o robô mais robusto, optou-se pela separação do hardware em dois módulos funcionais, sendo o primeiro, chamada de módulo Deliberativo, responsável por todo o processamento das imagens provenientes de uma câmera. Este módulo se comunica com o módulo Reativo, responsável pela leitura dos sensores de ultrassom e o controle dos atuadores e efetadores. A comunicação entre ambos os módulos acontece via protocolo SPI.

Cada um dos módulos de controle é constituído por uma arquitetura de hardware diferente que permite maior flexibilidade em termos funcionais. O módulo deliberativo é executado sobre a plataforma Raspberry PI com sistema operacional Linux, já o módulo reativo é executado na plataforma Freedom Board da Freescale com o sistema operacional embarcado MQX.

Os módulos reativo e deliberativo já estão prontos, restando apenas fazer a integração entre ambos, a fim de que o sistema de controle neurofuzzy, presente no módulo reativo,

considere, além dos dados recebidos pelos sensores de ultrassom, as coordenadas de reposicionamento calculadas pelo sistema de visão presente no módulo deliberativo.

#### AGRADECIMENTO

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

#### REFERÊNCIAS

- [1] J. P. Laboratory. (2013). *Mars Science Laboratory Curiosity Rover*.
- [2] K. Mykoniatis, A. Angelopoulou, and J. P. Kincaid, "Architectural design of ARTeMIS: A multi-tasking robot for people with disabilities," presented at the IEEE International Systems Conference (SysCon), 2013, Orlando, FL, 2013.
- [3] Y. Qi, "A Performance Analysis of Vision-Based Robot Localization System," Master of Science December, 2012, Mechanical Engineering, Lehigh University, 2013.
- [4] R. Pi. (2013). *Raspberry PI Quick Start Guide*.
- [5] F. Board. (2013). *FRDM-KL25Z: Freescale Freedom Development Platform for Kinetis KL1x and KL2x MCUs*.
- [6] ROS. (2013). *ROS Documentation*.
- [7] Petru Rusu, E. M. Petriu, T. E. Whalen, A. Cornell, and H. J. W. Spoelder, "Behavior-Based Neuro-Fuzzy Controller for Mobile Robot Navigation," presented at the IEEE TRANSACTIONS ON INSTRUMENTATION AND MEASUREMENT, 2013.
- [8] Freescale, "Freescale MQX Real-Time Operating System - User's Guide," 2011.
- [9] OpenCV. (2013). *OpenCv Documentation*.
- [10] M.-Y. Ju and J.-R. Lee, "Vision-based Mobile Robot Navigation Using Active Learning Concept," presented at the International Conference on Advanced Robotics and Intelligent Systems, Tainan, Taiwan, 2013