

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E POS-GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO DE APOIO A PESQUISA
PROGRAMA INSTITUCIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA

PROCESSAMENTO DE IMAGEM PARA NAVEGAÇÃO DE VEÍCULOS
ROBÓTICOS AUTÔNOMOS

Bolsista: Tiago Feitosa Antunes, CNPq

MANAUS

2012

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E POS-GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO DE APOIO A PESQUISA
PROGRAMA INSTITUCIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA

RELATÓRIO FINAL
PIB – E – 0160/2011
PROCESSAMENTO DE IMAGEM PARA NAVEGAÇÃO DE VEÍCULOS
ROBÓTICOS AUTÔNOMOS

Bolsista: Tiago Feitosa Antunes, CNPq
Orientador: Prof^o Dr^o José Reginaldo Hughes Carvalho

MANAUS
2012

Resumo

Uma missão robótica é tipicamente composta por um conjunto de objetivos e restrições a serem cumpridos pelo veículo. Um planejador determina as trajetórias necessárias para cumprir a missão.

Para navegar pelo ambiente, o robô é equipado com sensores, dentre outros, é possível que um destes seja uma câmera que é responsável pela visão em um sistema robótico. Uma tarefa encontrada frequentemente em aplicações robóticas é o seguimento de trajetória. Este trabalho propõe uma solução, baseada em IBVS, para esta tarefa. Diversos aspectos estão envolvidos no desenvolvimento para o problema proposto e, deste conjunto, estuda-se neste trabalho, os critérios para a escolha das características visuais necessárias para a realização da tarefa, os algoritmos de processamento de imagem e visão computacional utilizados para a extração das características visuais, as técnicas de rastreamento de características, os aspectos e dos aspectos de implementação numa plataforma real.

Este trabalho responde questões relativas ao controle servo-visual, aplicado a um robô móvel na realização do seguimento de trajetória. A metodologia é validada experimentalmente através do robô Pioneer P3-AT, existente no laboratório de visão computacional e robótica da Universidade Federal do Amazonas.

SUMÁRIO

1. Introdução.....	4
2. Revisão Bibliográfica.....	5
3. Métodos Utilizados.....	7
4. Resultado e Discussões.....	8
5. Referências Bibliográficas.....	9

1. Introdução

Por veículos robóticos entende-se, dentre outros, robôs móveis, veículos submersíveis e aéreos não tripulados (Silveira, 2002). Verifica-se um esforço no desenvolvimento de técnicas que conferem autonomia a estes veículos em toda a sua operação, desde a definição do modelo dinâmico, o controle e navegação, até procedimentos mais complexos, tais como exploração de ambientes e aprendizado (Azinheira, 2002; Carvalho et al. 2000.; Silveira, 2002; Carvalho et al, 2001). Quanto maior a capacidade de percepção e decisão do sistema robótico - ou seja, sua autonomia - menor a necessidade de atuação direta de um operador humano, que passa a concentrar-se em aspectos estratégicos da missão (Elfes et al, 2002).

As dificuldades para a execução confiável de tarefas complexas de forma autônoma pelo robô decorre, normalmente, das incertezas inerentes à informação sensorial (Elfes et al, 2002). Atualmente, existem uma gama muito grande de sensores para aquisição de dados pelo robô, variando desde simples *encoders* nas rodas até sofisticados sistemas laser ou visão estéreo, porém, todos sujeitos a perturbações e ruídos. Um dos sensores mais utilizados para conferir autonomia ao robô é a câmera. Podendo ser monocular ou stereo. Porém o uso da imagem e vídeo adquiridos em tempo de operação, geralmente denominado de visão computacional, para o aumento da autonomia do robô ainda é um desafio, especialmente no que concerne o acoplamento da visão diretamente aos módulos de controle/navegação do veículo, aumentando assim sua autonomia.

Este projeto se propõe justamente a endereçar este aspecto de acoplamento. Neste caso o módulo de visão será acoplado diretamente ao módulo de controle básico compondo uma única lei de controle (Rives,1999). Os marcos na imagem deverão ser referências rastreáveis, tal como, retas ou outra figura geométrica bem definida. Mais especificamente, está sendo implementada uma solução para o problema de controle de trajetória e posicionamento de robôs móveis, baseado puramente em visão, através de retas definidas na imagem, utilizando-se uma única câmera, tendo como base inicial o uso do método de *servo-controle visual baseado na imagem (IBVS, da sigla em inglês)* (Silveira, 2002).

O projeto tem seu foco na implementação e estudo dos filtros na imagem para detecção e rastreamento dos marcos. A partir de uma filtragem robusta, o tempo de resposta de controle do robô pode variar significativamente para um melhor caso e dar maior certeza sobre a decisão que cabe ao sistema do robô tomar durante sua movimentação (Shiroma, 2004).

2. Revisão Bibliográfica

Este trabalho teve como principais fontes de pesquisa as teses de Geraldo Figueiredo da Silveira Filho e Pedro Mitsuo Shiroma, respectivamente, *Controle ServoVisual de Veículos Robóticos Aéreos* (Silveira, 2002) e *Controle por Visão de Veículos Robóticos* (Shiroma, 2004). Grande parte dos trabalhos envolvendo controle servo visual baseia-se em elementos que são de fácil separação do restante da imagem (Rives,1999), processo conhecido por segmentação.

Alguns objetos segmentados são úteis para alimentar o sistema de navegação do robô, podendo seguir três abordagens (Shiroma, 2004): *i.* PBVS (position based visual servoing), onde a posição e orientação do robô no ambiente de operação é estimada; *ii.* IBVS, onde a navegação é feita diretamente no plano imagem; *iii.* o conhecido por *look'nd move*, baseado em primitivas de movimentação, sem a aplicação do conceito de realimentação. É importante analisar alguns fatores que são determinantes na escolha do método e, por consequência, no sucesso do rastreamento. Dentre eles, temos:

- Características que melhor distinguem o alvo de interesse.
- Condições de operação (e.g. iluminação).
- Informações a respeito do objeto que podem ser assumidas *a priori*.
- Conhecimentos do tipo de informação e da frequência de varredura desse sistema, necessários para atingir o desempenho requerido.

Qualquer que seja o método a ser implementado, é comum que o mesmo seja precedido por uma pré-filtragem da imagem bruta. Ambas as teses de mestrado mencionadas anteriormente aplicam o método de controle diretamente a partir do plano imagem (*IBVS*), contendo um bom material teórico e prático sobre suas etapas de desenvolvimentos. No método *IBVS*, a etapa de processamento da imagem é fundamental, pois pode comprometer aspectos de tempo real (Rives,1999). Daí a importância de melhorar esse processamento, deixando-o mais robusto e leve, adequando ao modelo da câmera e dos atuadores (Carvalho et al. 2000., Silveira, 2002, Carvalho et al, 2001). Os experimentos serão feitos no robô movel terrestre com rodas modelo *Pionner P3-AT*.

Analisando o servo-controle visual baseado em imagens (*IBVS*), podemos descrevê-lo da seguinte forma (Figura 1-a): *i.* A imagem do ambiente é adquirida pelo veículo; *ii.* A imagem é processada para extração das características; *iii.* O valor corrente dos parâmetros da imagem é comparado com o valor desejado e o erro é utilizado para o cálculo do sinal de controle.

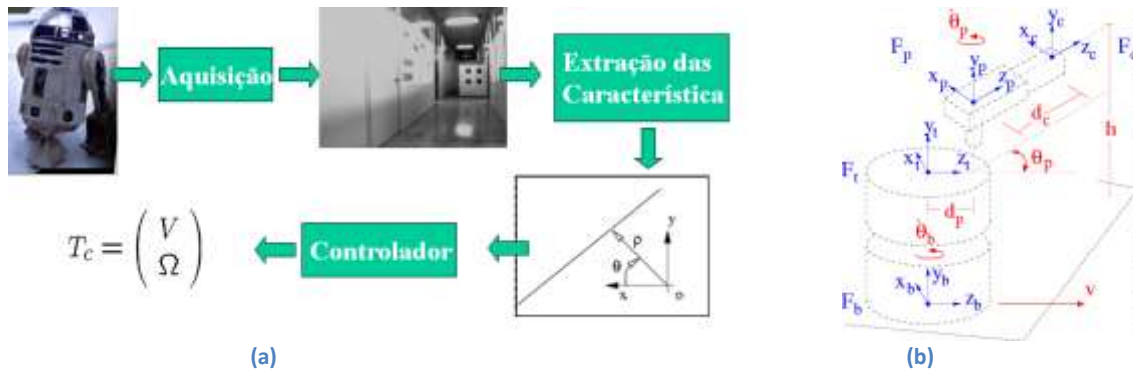


Figura 1: (a) Diagrama de blocos de um IBVS; (b) Sistemas de coordenadas em um robô móvel.

Todo o processo é feito diretamente no plano imagem, dispensando o cálculo da posição do veículo. Em resumo, o objetivo é determinar movimentos adequados do sensor de visão de forma a regular (ou levar para zero) o sinal de erro, calculado diretamente no plano imagem. Para tanto, o sinal realimentado na malha de controle está definido diretamente sobre a imagem e é proporcional ao erro entre a imagem atual e a desejada (quando a câmera está corretamente posicionada sobre o objetivo), ao contrário do controle baseado na posição, onde o erro é definido no espaço cartesiano e medido a partir da posição estimada atual do robô e a posição desejada quando estiver chegado ao objetivo. Esta abordagem tem a conveniência de dispensar o cálculo da configuração do robô (posição e orientação). Por outro lado, o IBVS depende fortemente da existência de uma primitiva geométrica bem definida (e.g. retas, circunferências, pontos, etc) (Silveira, 2002; Rives, 1999; Shiroma, 2004).

Outra vantagem do IBVS, agora com respeito a abordagem *look'nd move* baseada em primitivas de movimento (andar para frente/trás, girar esquerda/direita), é o de ser uma metodologia matematicamente elegante, dispensando os perfis ou *templates* de velocidades artificialmente pré-definidos pelo operador do veículo. O perfil de velocidade está encapsulado na função Jacobiano, que descreve as relações de velocidades entre todos os sistemas de coordenadas do veículo. A Figura 2-b apresenta um conjunto de sistemas de coordenadas para o veículo Nomadic Nomad 200, que é típico para veículos robóticos semelhantes ao P3 AT.

O uso do Jacobiano permite a definição de leis de controle adequadas e de condições de contorno e de convergência, fundamentais para aplicação em missões de campo. Todo o problema IBVS pode ser concentrado então na tarefa de segmentar o objeto de referência do plano imagem e calcular os parâmetros utilizados no cálculo do sinal de controle, e é neste aspecto do problema que este projeto de PIBIC se concentra.

3. Métodos Utilizados

Para atingir os objetivos deste projeto, uma série de etapas foram seguidas, a saber:

1. Levantamento dos métodos da literatura para processamento de imagem.
2. Proposição de um conjunto de operadores e filtros para extração de marcos rastreáveis.
3. Implementação dos filtros utilizando.
4. Experimentação e avaliação dos filtros em imagens reais.
5. Reuniões periódicas com o orientador.
6. Compilação e organização dos resultados encontrados em um relatório, em formato de artigo técnico visando sua submissão para publicação.

Todas as etapas já foram cumpridas, segundo o seguinte cronograma.

Nº	Ago 2011	Set	Out	Nov	Dez	Jan 2012	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul
1												
2												
3												
4												
5												
6												

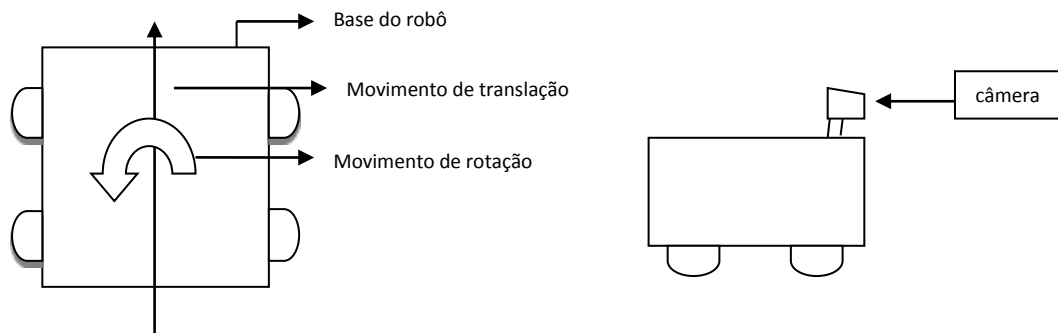
No levantamento bibliográfico, houve uma pesquisa sobre métodos de controle que usam a visão que são mais familiares à experiência prévia do orientador. Para tanto, foi lida duas teses de mestrado: dos pesquisadores Geraldo Figueiredo da Silveira Filho (Silveira, 2002) e Pedro Mitsuo Shiroma (Shiroma, 2004). A partir de então o projeto começou a ter foco diretamente sobre os filtros, deixando o método de controle para uma segunda etapa. Neste sentido, foi estudado os filtros de Canny, que serve para a detecção de bordas e a transformada de Hough é usada para encontrar as retas nas imagens filtradas pelo algoritmo de Canny (Shiroma, 2004).

Depois de estudados esses métodos, o trabalho entrou na etapa de implementação dos algoritmos de filtragem e do entendimento dos algoritmos de controle do robô, baseado no conceito de *Matriz de Interação* (Rives, 1999), que faz a relação de velocidade na imagem e nos atuadores, enviando assim os sinais. Depois do término da implementação dos algoritmos, será feito os experimentos visando melhorar os algoritmos e dar mais robustez aos mesmos.

4. Resultados e Discussões

4.1 Plataforma de desenvolvimento

A plataforma de experimental do projeto é um robô móvel terrestre modelo Pioneer 3-AT constituído de uma câmera Cannon.



Para as conexões com o robô foi necessário o uso do Player-3.0.2, uma biblioteca e um conjunto de ferramentas que permitem programar e trabalhar, de forma prática, aplicações com robô e sensores. Através das ferramentas disponíveis foi possível passar os valores do sinal de controle para os atuadores. É criado um cliente no robô, o que permite o acesso aos dispositivos do mesmo, é necessário fazer uma conexão direta computador-computador/robô através de um cabo cross-over, pois a velocidade da internet sem fio não é capaz de trafegar os dados em tempo real.

Com todos esses componentes instalados e a criação do cliente resolvido, o trabalho passa a se voltar para o trabalho com o processamento da imagem e o cálculo dos sinais de controle. Foi essencial para o projeto o uso da biblioteca OpenCv, criada pela Intel, onde tem uma variedade de algoritmos de aplicação em Visão Computacional.

4.2 Tarefa de seguimento de retas

O seguimento de retas pelo robô é feito pelo algoritmo1: Controle do Robô, no qual a tarefa é capturar e processar as imagens, encontrar a reta que deseja seguir e calcular a partir desta os sinais de controle que serão passados para os atuadores. A tarefa foi implementada com sucesso, o objetivo proposto é fazer com que o robô seguisse a parede do laboratório até o seu final, usando somente a informação visual.

Uma característica visual marcante era o rodapé, ou seja, o encontra de dois planos, um horizontal (chão) e outro vertical (parede).

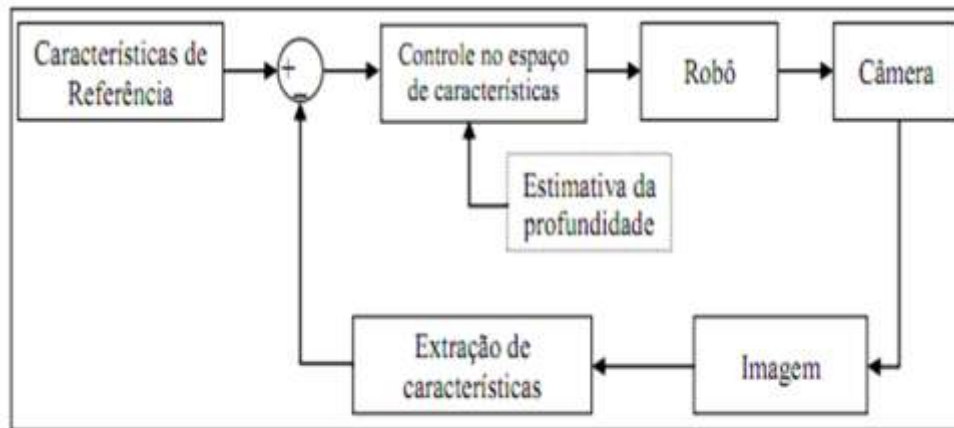


Figura 2.5 Diagrama de Blocos do IBVS

A abordagem de controle se divide em duas etapas: Na primeira etapa, definem-se as características de imagem a serem utilizadas como referência, e calculam-se os parâmetros associados a cada uma delas. Na segunda etapa projeta-se um controlador capaz de levar o robô de uma posição inicial a uma posição qualquer até a posição de referência. Abaixo um algoritmo capaz de solucionar a tarefa de seguimento de trajetória com 2 graus de liberdade, ou seja, apenas o movimento de translação e o de rotação do robô.

Algoritmo1: Controle do Robô

- 1: *ImgGray()*← Captura da Imagem do Robô em escala cinza
- 2: *ImgCanny()*← Aplica o filtro de Canny na *ImgGray()*
- 3: *Dados_das_retas()*← Aplica a Transformada de Hough sobre *ImgCanny()* e guarda as retas encontradas.
- 4: *r_MR()*←busca a Melhor Reta, a partir de *Dados_das_retas()*
- 5: **Se** *r_MR()* encontrada **então**
- 6: Calcula o sinal dos atuadores *control()*, usando a matriz de interação inversa.
- 7: **fimse**
- 8: Tratamento de erros()

O algoritmo de controle do robô pode ser dividido em duas partes: A primeira, refere-se a processo da imagem, desde a captura da imagem gerada pela câmera do robô até o cálculo dos parâmetros da reta encontrada. A segunda parte é o algoritmo de controle dos atuadores do robô, que nos casos dos testes com dois graus de liberdade, são as velocidades das rodas.

Na primeira parte do algoritmo, a imagem da câmera é trabalhada da seguinte forma. Tendo a imagem da câmera em tempo real, ela é passada para a estrutura de imagem da biblioteca OpenCv para que não haja problemas no uso das funções da biblioteca.

Feito o processo de captura da imagem, o passo seguinte é transformá-la em escala cinza, algo feito usando funções da biblioteca OpenCv. A parte mais complexa do trabalho foi fazer com que o filtro de Canny, também disponível na biblioteca, tenha os parâmetros de limiar passados de uma forma com que as bordas detectadas sejam robustas e não fiquem desaparecendo entre um frame e outro, o que influencia diretamente na reta a ser encontrada.

Com os testes feitos foi possível encontrar os melhores valores dos limiares a serem passados para Canny, em diferentes períodos do dia, considerando que a distribuição da luz, tanto artificial quanto natural, faz diferença no algoritmo. Com esses valores, foi criada uma condição na qual toda vez que a melhor reta não for encontrada na imagem, um novo valor é passado para o algoritmo de Canny.

Tendo as bordas bem detectadas pelo algoritmo de Canny, a transformada de Hough foi usado para que as retas fossem encontradas, na biblioteca OpenCv, existem alguns métodos da transformada de Hough para serem usados, o escolhido foi o método probabilístico onde todos os segmentos de linha detectados são retornados e cada segmento é representado pelos seus pontos de início e fim. Todas as linhas(retas) de tamanho significativo para serem seguidas são guardadas em um vetor estruturado, ou seja, o tamanho e seus dados. A partir de então, foi criada uma função que escolhe a melhor reta a ser seguida. Funciona da seguinte forma, a primeira condição é a ângulo de inclinação da reta, o tamanho e depois a distância da reta até o eixo (rho), desta forma a melhor reta é escolhida e seus dados são passados para a parte do controle do Algoritmo1.

4.3 Controle dos Atuadores

A figura 1 mostra exatamente a tarefa proposta pelo projeto. A partir da imagem inicial, é detectada uma reta nesse caso a vermelha na figura 1, e os valores encontrados na reta são o rho(distância da reta em relação a origem) atual e o theta(é a inclinação da reta) atual. A reta tem que ficar aproximadamente igual a reta verde, onde a mesma deve cruzar o ponto de origem do eixo x e y. Os valores rho e theta na reta verde são fixos, o rho é sempre zero, pois cruza o eixo, e o theta é $\arctan(-l/h)$ onde l é a distância entre o robô e a parede e h é a altura da câmera em relação ao solo.



Figura 1.

Com os dados extraídos da reta escolhida, o algoritmo de controle vai calcular o sinal(erro) dos atuadores, para isso é utilizada uma matriz de interação, que relaciona as velocidades no espaço real com a velocidade no espaço sensorial.

Os testes foram realizados apenas com dois graus de liberdade, sendo, portanto, necessário calcular a velocidade apenas para a base do robô. Para o calculo é necessário fazer o inverso do Jacobiano(Matriz de interação), ou seja, a partir das velocidades desejadas no plano imagem da câmera, é calculada a velocidade para a base do robô. Abaixo a equação que calcula os sinais de erro.

$$\begin{pmatrix} v \\ \theta b \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -\text{sen_theta_pan} & \text{cos_theta_pan}/d_p & -\text{cos_theta_pan}/d_p \\ \text{cos_theta_pan} & \text{sen_theta_pan}/d_p & -\text{sen_theta_pan}/d_p \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} Vx \\ Vz \end{pmatrix}$$

Equação 1

Sendo v a velocidade de translação(para frente ou para atrás) e θb a velocidade de rotação da base. O seno e o cosseno são tirados do pan-tilt, d_p é a distância da base para o pan-tilt. Vx e Vz são as velocidades no plano da imagem.

A equação determina a velocidade nos atuadores que conduz os parâmetros da reta corrente para seus valores desejados. Por exemplo, na figura 1, seja a melhor reta corrente (*reta0*) a pintada com a cor vermelha, e *reta1* (na cor verde) seja o estado final (objetivo) para onde se deseja conduzir *reta0*. O sinal de erro é a diferença entre os parâmetros da *reta0* e da *reta1*. Os parâmetros da *reta1* estão descritos no primeiro parágrafo deste tópico.

4.4 Experimento

Os testes realizados com dois graus de liberdade foram bem sucedidos na primeira parte do algoritmo; detecção das retas e escolha da melhor reta. Na segunda parte, o controle

do robô mostrou algumas instabilidades por se aproximar muito da parede, mas conseguiu completar a tarefa desejada, com o sinal de erro se aproximando dos valores definidos.



Imagem (a)

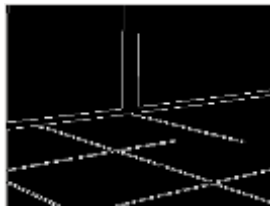


Imagem (b)



Imagem(c)

As imagens acima constituem uma mesma captura de imagem realizada pela primeira parte do algoritmo de visão, onde primeiramente é capturado o frame visualizado pela câmera do robô Imagem (a), depois é submetido ao filtro de Canny, que é responsável pela detecção das bordas. Na Imagem (c), depois de ter sido aplicado o método de Hough é escolhida a melhor e maior reta a ser seguida. Com é possível ver na imagem (c), o objetivo de seguir a reta do rodapé foi alcançado.

Na imagem (c), que é a do início de um dos testes realizados, com $l = 1\text{m}$ e $h = 30\text{cm}$, o valor desejado da angulação da reta (theta desejado) é $\arctan(-l/h)$, e o valor do rho desejado é 0. O resultado do módulo controlador (baseado no inverso do Jacobiano aumentado pela matriz de interação) gerou os seguintes valores, para a velocidade de rotação e de translação da base, $v(\text{mm/s})=20$ (translação) e $\theta_{\text{base}}(\text{rad/s}) = -0,0$.



Imagem (d)



Imagem (e)

Na imagem (d), que é a continuação do teste realizado que deu origem a imagem (a), (b) e (c), o robô já está no processo de rotação da base para seguir a reta, os sinais de controle foram recalculados. O resultado módulo controlador gerou os seguintes valores, para a velocidade de rotação e de translação da base, $v(\text{mm/s})=20$ (translação) e $\theta_{\text{base}}(\text{rad/s}) = -0,5$. A imagem (e) é a última reta detectada, pois já é possível encontrar o final dela, e a parte de tratamento de erros no algoritmo de controle define que quando for detectado outro plano (outra parede), a ultima reta detectada deve ser sempre atualizada até o momento em que ela se perder no plano imagem da câmera. Então a tarefa é finalizada e os atuadores desativados.

5. Conclusão

O desenvolvimento do trabalho foi baseado no controle servo visual, envolvendo a integração de diversos aspectos multidisciplinares, necessários para a completa realização das tarefas. Dentre os aspectos, destacam-se técnicas de processamentos de imagens, modelagem dinâmica, controle de servo-mecanismos, integração de software e drivers de dispositivos, dentre outros.

A imagem consiste na mais rica fonte de informações sensoriais existente hoje e, portanto a mais difícil de transformar o dado (imagem) em informação útil. A tarefa de seguimento de trajetória definida por retas pode ser utilizada em vários tipos de missões aéreas, tais como inspeção de linhas de transmissão de energia ou oleodutos, seguimento de estradas e missões terrestres, tais como navegação ou vistoria interna de dutos de esgoto.

O método IBVS apresenta uma abordagem atrativa para a realização de diversas tarefas, pois se baseia na teoria de controle, constituindo-se em uma abordagem matemática elegante para representar o comportamento do sistema robótico sem, entretanto, demandar um esforço computacional elevado.

A facilidade de executar os testes no robô Pioneer P3-AT foi um fator essencial no início dos experimentos, pois diferente de um simulador, alguns aspectos externos, como a variação da luz natural que entrava pela janela do laboratório, puderam ser resolvidos com mais rapidez ou simplesmente eliminados na hora dos testes, executando-os no período da noite.

A principal contribuição deste trabalho encontra-se nas formas de usar as ferramentas do robô, e das bibliotecas do Player-3.0.2 e OpenCV, utilizadas em conjunto para um melhor resultado e custo computacional baixo. Além de mostrar desde o início as etapas necessárias para a realização de uma tarefa robótica de controle visual nos seus principais aspectos desde a concepção, desenvolvimento até a implementação.

A união das duas bibliotecas em um contexto acadêmico, foi essencial para a conclusão do projeto, além de tornar mais fácil a implementação dos filtros e dos dados a serem extraídos da imagem e tornando os algoritmos de visão mais robustos.

6. Referências Bibliográficas

SILVEIRA FILHO, G. F.. Controle Servo Visual de Veículos Robóticos Aéreos, Master's thesis, Universidade Estadual de Campinas (FEEC/Unicamp). 2002.

AZINHEIRA, J. R. ; RIVES, P. ; CARVALHO, J. R. H. ; SILVEIRA FILHO, G. F. ; PAIVA, E. C. ; BUENO, S. S. . Visual Servo Control for the Hovering of an Outdoor Robotic Airship. In: IEEE International Conference on Robotics and Automation, Washington-DC. International Conference on Robotics and Automation, 2002.

CARVALHO, J. R. H., RIVES, P., BÁRBARA, A. S. e BUENO, S. S.. Visual servo control of a class of mobile robot, IEEE International Conference on Control Applications, Alaska, USA. 2000.

SILVEIRA FILHO, G. F. ; CARVALHO, J. R. H. ; RIVES, P. ; AZINHEIRA, J. R. ; BUENO, S. S. ; MADRID, M. K.. Optimal Visual Servoed Guidance of Outdoor Autonomous Robotic Airship. In: American Control Conference, Anchorage-AK. American Control Conference, 2002.

CARVALHO, J. R. H. ; OLIVEIRA, G. H. C. . Combining range-sensor with visual navigation using predictive methods. In: World Multi-conference on Systemics, Cybernetics and Informatics, Orlando-USA. World Multi-conference on Systemics, Cybernetics and Informatics, 2001.

ELFES, A. ; BUENO, S. S. ; RAMOS JR, J. G. ; PAIVA, E. C. ; BERGERMAN, M. ; CARVALHO, José R. H. ; MAETA, S. M. ; MIRISOLA, L. G. B. ; FARIA, B. G. ; AZINHEIRA, J. R. . Modelling, Control and Perception for an Autonomous Robotic Airship. Lecture Notes in Computer Science, v. 2238, p. 216-244, 2002.

RIVES, P.. Lecture notes on sensor based control, INRIA-Sophia Antipolis, França. 1999.

SHIROMA, P. M.. Controle por Visão de Veículos Robóticos, Master's thesis, Universidade Estadual de Campinas (IC/Unicamp). 2004.