

Sistemas de Defesa: Uma abordagem para desvios de obstáculos no auxílio do controle de um quadricóptero em tempo real

Bruno da Silva Giovanini

Paulo F.F. Rosa¹
(Orientador)

¹Instituto Militar de Engenharia - IME
Laboratório de Robótica e Inteligência Computacional
Programa de Pós-graduação em Engenharia de Defesa

3 de fevereiro de 2015

Sumário

- 1 Introdução
- 2 Tópicos tutorias
- 3 O Problema: Segurança em voo para quadricóptero
- 4 Metodologia
- 5 Cronograma
- 6 Viabilidade da proposta
- 7 Resultados esperados
- 8 Conclusão

Sumário

- 1 Introdução
- 2 Tópicos tutorias
- 3 O Problema: Segurança em voo para quadricóptero
- 4 Metodologia
- 5 Cronograma
- 6 Viabilidade da proposta
- 7 Resultados esperados
- 8 Conclusão

Introdução I

- Crescente utilização para missões civis e militares
- Voos em ambientes fechados e restritos
- Risco de colisão com equipamentos críticos e sensíveis
- Difícil controle e manuseio

Introdução II

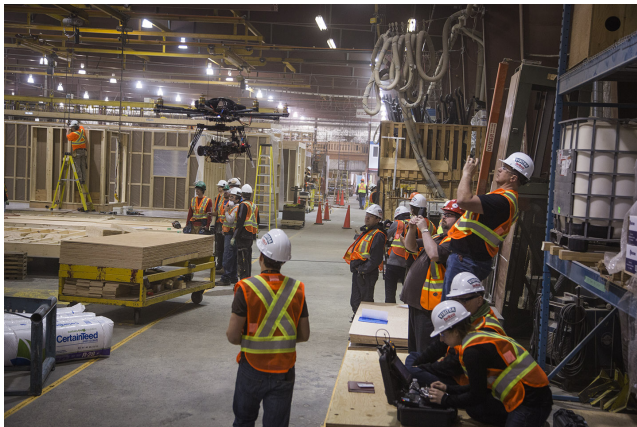


Figura: Filmagem *indoor*

Introdução III



Figura: Inspeção de equipamentos sensíveis

Objetivo

- Evitar colisões de um quadricóptero, estimando constantemente a trajetória futura do veículo, com base na sua dinâmica, seu estado atual, o *input* de controle corrente e a distância para os obstáculos, medida através de sensores ultrassônicos embarcados
- Maior segurança no voo desta plataforma em ambientes restritos

Sumário

- 1 Introdução
- 2 Tópicos tutorias**
- 3 O Problema: Segurança em voo para quadricóptero
- 4 Metodologia
- 5 Cronograma
- 6 Viabilidade da proposta
- 7 Resultados esperados
- 8 Conclusão

O quadricóptero - A Plataforma

- Veículo voador com quatro rotores com decolagem e aterrissagem vertical [9]



Figura: Plataforma Parrot Ardrone 2.0. Fonte [1]

O quadricóptero - Dinâmica de Voo I

- Seis graus de liberdade e quatro atuadores
- Três são movimentos lineares (x,y,z) e três são angulares (ϕ,θ,ψ)
- Sistema *underactuated*, movimentos (x,y) dependentes dos movimentos (ϕ,θ)
- Objetivo é manter a estabilidade do eixo central controlando quatro motores independentes eletronicamente

O quadricóptero - Dinâmica de Voo II

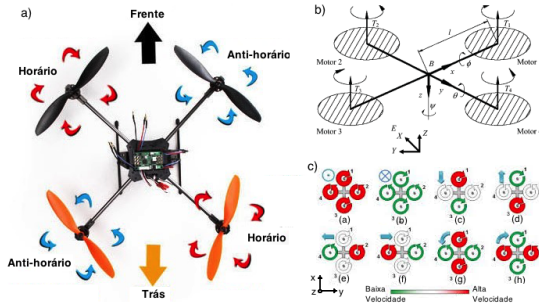


Figura: Estrutura e orientação dos motores (a), as forças e momentos atuando no quadricóptero (b) e os movimentos gerados a partir das variações de velocidades dos motores (c). Fontes [2], [8] e [4].

Sistemas embarcados para navegação

- Obtenção de informações sobre a posição, velocidade e atitude de um veículo com relação a um dado referencial
- Fornecidas por sensores inerciais: acelerômetros e giroscópios
- Magnetômetros incluídos melhoram a medida da atitude do veículo

IMU I

- Componente eletrônico onde estão montados os sensores.
- Três acelerômetros: aceleração linear (x, y, z)
- Três giroscópios: velocidade angular (ϕ, θ, ψ)

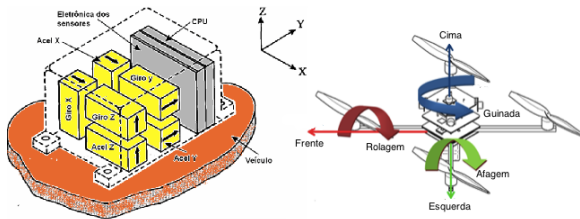
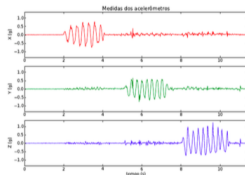
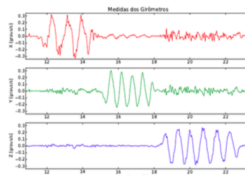


Figura: Estrutura do Sistema de Navegação acoplada ao veículo (esquerda) e os movimentos gerados no quadricóptero (direita). Fonte [5]

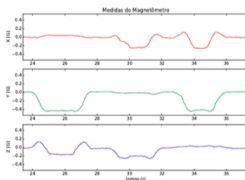
IMU II



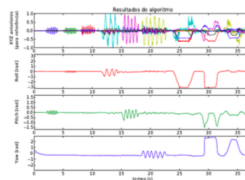
(a) Medições do acelerômetro



(b) Medições do giroscópio



(c) Medições do magnetômetro



(d) Resultado após o processamento das medições dos sensores

Figura: Gráfico das medições dos sensores inerciais da IMU do VANT-IME.
Fonte [3]

Controle PID I

- Método comum para controle de robôs
- Controle fechado que reage a mudanças no ambiente captadas por sensores
- Três parâmetros constantes: Proporcional (P), Integral (I) e Derivativo (D)

Controle PID II

- Proporcional (P)
 - É tipicamente o erro.
 - Fórmula: $A - B$, onde A é a posição atual e B é onde deveria estar
- Integral (I)
 - É o acúmulo dos erros passados no tempo.
 - Fórmula: $A/t_1 + B/t_2 + C/t_3$, sendo A o erro em t_1 , B em t_2 e C em t_3
- Derivativo (D)
 - É a mudança do erro no tempo.
 - Fórmula: $(A - B)/t$, sendo A o erro inicial e B o erro depois do tempo t

Controle PID III

- Cada parâmetro tem seu ganho K associado
- Soma ponderada: $P * K_p + I * K_i + D * K_d$

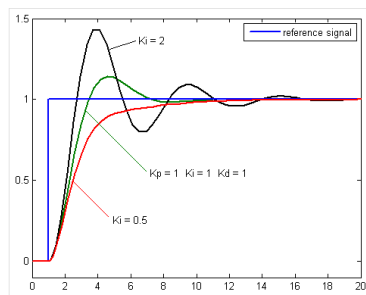


Figura: Desempenho do sistema para diferentes ganhos K_p , K_i e K_d . Fonte [6]

PID para quadricópteros I

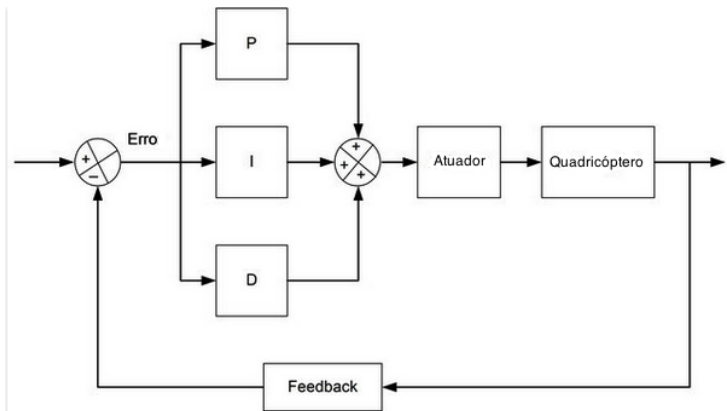


Figura: Controle PID de um quadricóptero. Fonte [7]

PID para quadricópteros II

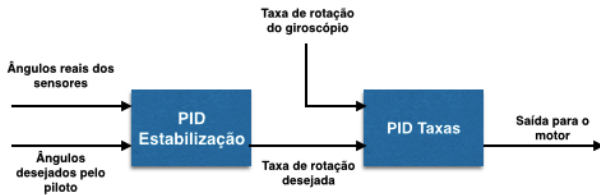


Figura: Controle PID por eixo. Fonte [7]

Sumário

- 1 Introdução
- 2 Tópicos tutorias
- 3 O Problema: Segurança em voo para quadricóptero**
- 4 Metodologia
- 5 Cronograma
- 6 Viabilidade da proposta
- 7 Resultados esperados
- 8 Conclusão

O Problema: Segurança em voo para quadricóptero I

- Auxiliar o controle da plataforma com base na dinâmica, estado atual, controle corrente e distância para obstáculos
- Dado $\mathcal{X} \subset \mathbb{R}^n$ o espaço de estados do robô, $\mathcal{U} \subset \mathbb{R}^n$ o espaço do *input* de controle, t o tempo, $\mathbf{x}(t)$ o estado do robô no tempo t e $\mathbf{u}(t)$ o *input* de operação no tempo t . A dinâmica do robô é uma função em $\mathbf{f} \in \mathcal{X} \times \mathcal{U} \times \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}^n$ e é dada pela relação 1:

$$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{f}(\mathbf{x}(t), \mathbf{u}(t), t) \quad (1)$$

- Com $\mathbf{x}_0 = \mathbf{x}(0)$ e uma constante de *input* de operação \mathbf{u} , o estado do robô será:

$$\mathbf{x} = \mathbf{g}(\mathbf{x}, \mathbf{u}, t) \quad (2)$$

onde $\mathbf{g} \in \mathcal{X} \times \mathcal{U} \times \mathbb{R} \rightarrow \mathcal{X}$ é a solução da equação diferencial 1

O Problema: Segurança em voo para quadricóptero II

- Obstáculos restringem as posições possíveis do robô
- Sendo $\mathcal{O} \subset \mathbb{R}^3$, a subárea do espaço \mathbb{R}^n de movimentos possíveis do robô ocupadas por obstáculos e as regiões escondidas por eles quando vistas robô e $\mathcal{R}(x)$, a subárea ocupada pelo robô no estado $x \in \mathcal{X}$
- O Problema: Definir a menor variação de controle $\Delta \mathbf{u} \in \mathcal{U}$ necessária para evitar colisão na janela de tempo $t \in [0, \tau]$, onde τ é um horizonte de tempo já definido:

$$\begin{aligned} \min: & \Delta \mathbf{u} \\ \text{Sujeito a: } & \forall t \in [0, \tau], \mathcal{R}(\mathbf{g}(\mathbf{x}, \mathbf{u} + \Delta \mathbf{u}, t)) \cap \mathcal{O} = \emptyset \end{aligned} \tag{3}$$

Sumário

- 1 Introdução
- 2 Tópicos tutorias
- 3 O Problema: Segurança em voo para quadricóptero
- 4 Metodologia**
- 5 Cronograma
- 6 Viabilidade da proposta
- 7 Resultados esperados
- 8 Conclusão

Metodologia I

- Divisão em etapas

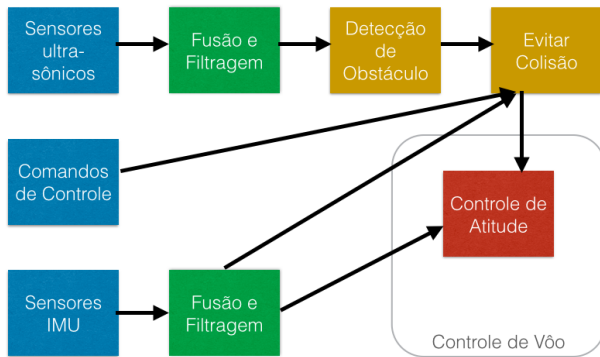


Figura: Etapas do método

Metodologia II

- Componentes necessários
 - Plataforma de voo (quadricóptero) com interface de comunicação e SDK código aberto
 - Sensores ultrassônicos
 - *Computer on module* para embarque na plataforma: Raspberry PI
- Software necessário
 - Matlab com pacote Simulink
 - Kit de desenvolvimento para quadricópteros do Matlab Simulink
 - Raspberry Pi Support from MATLAB

Metodologia III

- Estratégia de implementação



Figura: Estratégia de implementação

Sumário

- 1 Introdução
- 2 Tópicos tutorias
- 3 O Problema: Segurança em voo para quadricóptero
- 4 Metodologia
- 5 Cronograma**
- 6 Viabilidade da proposta
- 7 Resultados esperados
- 8 Conclusão

Cronograma

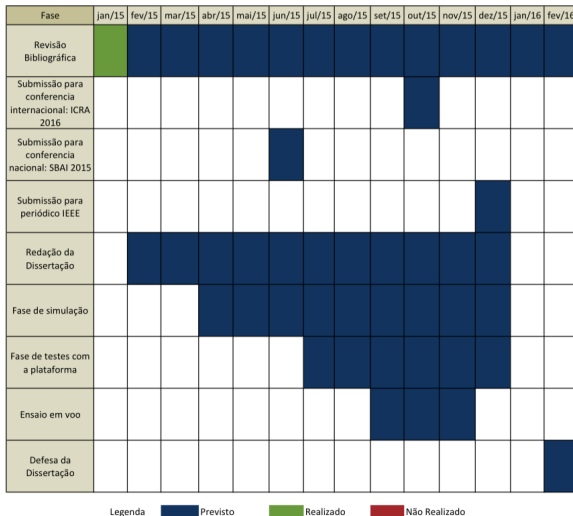


Figura: Cronograma físico.

Sumário

- 1 Introdução
- 2 Tópicos tutorias
- 3 O Problema: Segurança em voo para quadricóptero
- 4 Metodologia
- 5 Cronograma
- 6 Viabilidade da proposta**
- 7 Resultados esperados
- 8 Conclusão

Viabilidade da proposta

- Quatro quadricópteros com 45cm de diâmetro
- Dois Raspberry PI modelo B com processador de 700MHz, 512MB de memória
- Sensores ultrassônicos
- Matlab R2013a com Simulink

Sumário

- 1 Introdução
- 2 Tópicos tutorias
- 3 O Problema: Segurança em voo para quadricóptero
- 4 Metodologia
- 5 Cronograma
- 6 Viabilidade da proposta
- 7 Resultados esperados**
- 8 Conclusão

Resultados esperados

- Foram elaboradas três missões

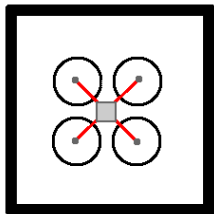


Figura: Missão 1.
Veículo cercado e estabilizado

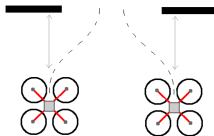


Figura: Missão 2:
Veículo em
movimento com
obstáculo a frente.
Desvio pelos lados

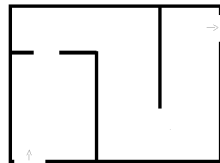


Figura: Missão 3:
Trajeto completo
num ambiente com
obstáculos

Sumário

- 1 Introdução
- 2 Tópicos tutorias
- 3 O Problema: Segurança em voo para quadricóptero
- 4 Metodologia
- 5 Cronograma
- 6 Viabilidade da proposta
- 7 Resultados esperados
- 8 Conclusão**

Conclusão

- Enfoque em um tema surgente e relevante
- Inúmeras aplicações na área de defesa
- Construção do módulo de desvio de obstáculos da plataforma VANT-IME

Referências I



AR.Drone Developer Guide.



Quadcopter (x-mode build log).



R. A. da Paixao, P. F. F. Rosa, and J. M. M. Neto.

An attitude heading and reference system: basic concepts and prototype.

In Industrial Electronics (ISIE), 2011 IEEE International Symposium on, pages 2225–2230. IEEE, 2011.



J. M. B. Domingues.

Quadrotor prototype.

Universidade Tecnica de Lisboa. Dissertacio, 2009.



J. A. F. JUNIOR.

Simulação e implementação em tempo real de sistemas de navegação inercial integrados ins/gps.

Master's thesis, IME, 2009.

Referências II



R. Kingdom.

Pid controller tutorial for robots.



O. Liang.

Quadcopter pid explained and tuning.



A. A. Mian and W. Daobo.

Modeling and backstepping-based nonlinear control strategy for a 6 dof quadrotor helicopter.

Chinese Journal of Aeronautics, 21(3):261–268, 2008.



A. L. Salih, M. Moghavvemi, H. A. Mohamed, and K. S. Gaeid.

Flight pid controller design for a uav quadrotor.

Scientific Research and Essays, 5(23):3660–3667, 2010.

Obrigado

bsgiovanini@gmail.com

