

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

10 de fevereiro de 2015

Sumário

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

Sumário

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

Objetivo

- Construir uma abordagem para evitar colisões de um quadricóptero, estimando constantemente a trajetória futura do veículo, com base na sua dinâmica, estado atual, *input* de controle corrente e na distância para obstáculos medida por sensores ultrassônicos embarcados, proporcionando uma maior segurança no voo desta plataforma em ambientes restritos e sensíveis
- Construir uma abordagem para evitar colisões de um quadricóptero utilizando estimativas de sua trajetória futura e distâncias para obstáculos, proporcionando uma maior segurança de voo em ambientes restritos e sensíveis
- Construir uma abordagem para evitar colisões de um quadricóptero utilizando estimativas de sua trajetória futura e distâncias para obstáculos, criando desvios, se necessário, e proporcionando uma maior segurança de voo em ambientes restritos e sensíveis

Sumário

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

Motivação 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

Motivação II

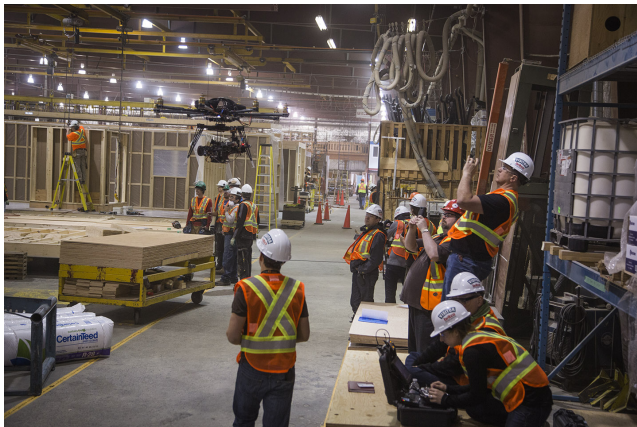


Figura: Filmagem *indoor*

Motivação III



Figura: Inspeção de equipamentos sensíveis

Sumário

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

O quadricóptero - A Plataforma

- Veículo voador com quatro rotores com decolagem e aterrissagem vertical [10]



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

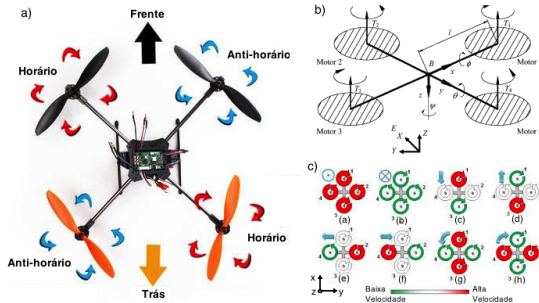


Figura: Estrutura e orientação dos motores (a), as forças e momentos atuando no quadricóptero (b) e os movimentos gerados a partir das variações de velocidades dos motores (c). Fontes [2], [9] e [5].

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

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

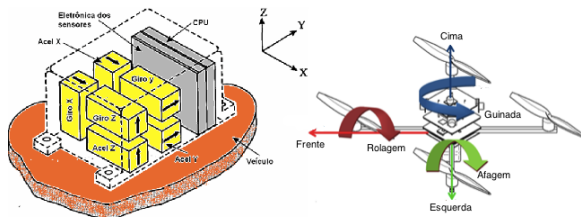


Figura: Estrutura do Sistema de Navegação acoplada ao veículo (esquerda) e os movimentos gerados no quadricóptero (direita). Fonte [6]

AHRS

- *Attitude Heading Reference System*
- Mesmos sensores da IMU (com magnetômetro)
- Unidade de processamento para cálculo da velocidade angular e atitude
- Fornece $(\dot{x} \quad \dot{y} \quad \dot{z} \quad \phi \quad \theta \quad \psi)$

Controle PID I

- Método de controle adaptativo comum para controle de robôs
- Controle fechado que reage a mudanças no ambiente captadas por sensores
- Reação a partir do erro medido
- 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
- Variável medida = $P * K_p + I * K_i + D * K_d$

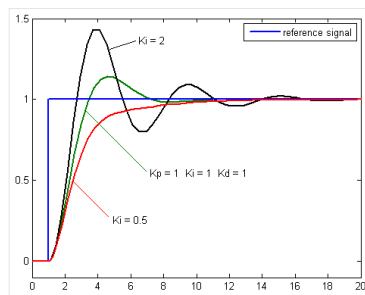


Figura: Desempenho do sistema para diferentes ganhos K_p , K_i e K_d . Fonte [7]

PID para quadricópteros I

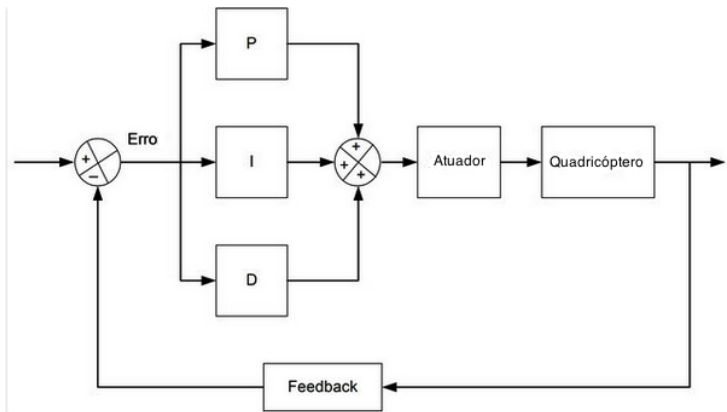


Figura: Controle PID de um quadricóptero. Fonte [8]

PID para quadricópteros II

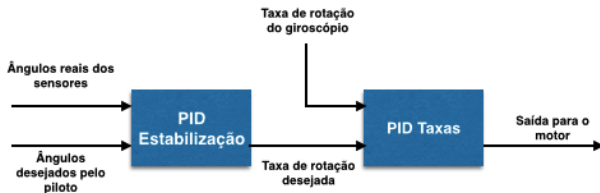


Figura: Controle PID por eixo. Fonte [8]

Sumário

- 1 Objetivo
- 2 Introdução
- 3 Tópicos tutorias
- 4 O Problema: Segurança em voo para quadricóptero**
- 5 Metodologia
- 6 Cronograma
- 7 Viabilidade da proposta
- 8 Resultados esperados
- 9 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
- Dinâmica do robô ($\mathbf{f} \in \mathcal{X} \times \mathcal{U} \times \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}^n$):

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

Dado $\mathbf{x}(t)$ o estado do robô no tempo t e $\mathbf{u}(t)$ o *input* de operação no tempo t .

- Estado do robô ($\mathbf{g} \in \mathcal{X} \times \mathcal{U} \times \mathbb{R} \rightarrow \mathcal{X}$ é a solução da equação diferencial 1):

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

Dado $\mathbf{x}_0 = \mathbf{x}(0)$ e \mathbf{u} a constante de *input* de operação

O Problema: Segurança em voo para quadricóptero II

- O Problema: Definir a menor variação de controle $\Delta \mathbf{u} \in \mathcal{U}$ necessária para evitar colisão em $t \in [0, \tau]$, onde τ é um horizonte de tempo já definido:

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

Dado $\mathcal{O} \subset \mathbb{R}^3$, a subárea do espaço \mathbb{R}^n ocupadas por obstáculos escondidas quando vistas pelo robô e $\mathcal{R}(x)$, a subárea ocupada pelo robô no estado $x \in \mathcal{X}$

Sumário

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

Metodologia I

- Divisão em etapas

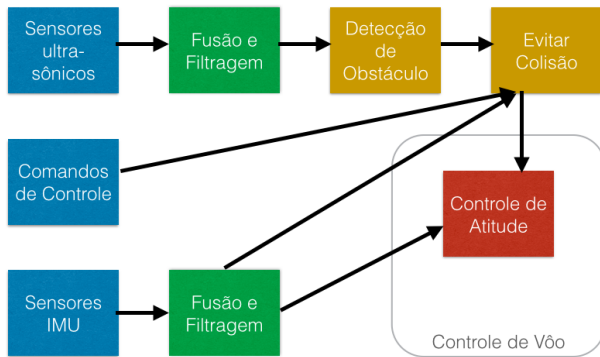


Figura: Etapas do método

Metodologia II

• Evitar colisão

- Dados da AHRS: $d_t = [\dot{x}_t \ \dot{y}_t \ \dot{z}_t \ \phi_t \ \theta_t \ \psi_t]^T$
- Dados do Controle: $u_t = [\delta\phi_t \ \delta\theta_t \ \delta\psi_t \ \delta h_t]^T$
- Estimação da trajetória futura (Integração Numérica em t)
- Espaço de estados com Δt pequeno. Fonte [3]

$$\begin{aligned}
 x_{t+1} &= x_t + (\dot{x}_t \cos \psi_t - \dot{y}_t \sin \psi_t) \Delta t \\
 y_{t+1} &= y_t + (\dot{x}_t \sin \psi_t + \dot{y}_t \cos \psi_t) \Delta t \\
 z_{t+1} &= z_t + \delta h_t \\
 \phi_{t+1} &= \phi_t + \delta\phi_t \\
 \theta_{t+1} &= \theta_t + \delta\theta_t \\
 \psi_{t+1} &= \psi_t + \delta\psi_t \\
 \dot{x}_{t+1} &= \mathbf{C}_1 \phi_t \\
 \dot{y}_{t+1} &= \mathbf{C}_2 \theta_t
 \end{aligned} \tag{4}$$

Metodologia III

- Evitar colisão (cont.)
 - Identificar rota em choque e desviar
 - Utilização das distâncias medidas para os obstáculos
 - Método da Janela dinâmica [11]
 - Determinar $\Delta \mathbf{u}$ e seguros no espaço de estados \mathcal{U} em $t \in [0, \tau]$
 - Otimização: $\min \Delta \mathbf{u}$

Metodologia IV

- 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 V

- Estratégia de implementação

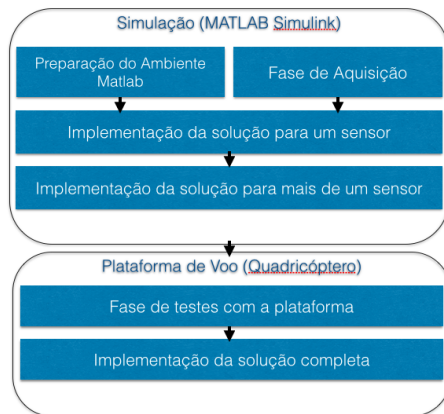


Figura: Estratégia de implementação

Sumário

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

Cronograma

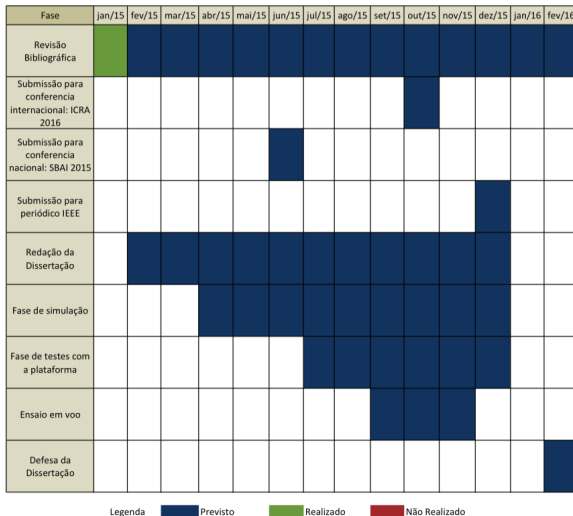


Figura: Cronograma físico.

Sumário

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

Resultados esperados

- Foram elaboradas três missões

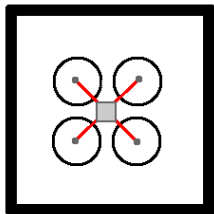


Figura: Missão 1.
Veículo cercado e estabilizado

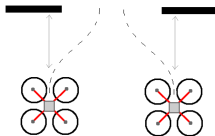


Figura: Missão 2:
Veículo em
movimento com
obstáculo a frente.
Desvio pelos lados

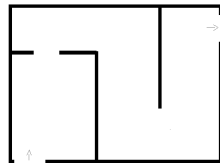


Figura: Missão 3:
Trajeto completo
num ambiente com
obstáculos

Sumário

- 1 Objetivo
- 2 Introdução
- 3 Tópicos tutorias
- 4 O Problema: Segurança em voo para quadricóptero
- 5 Metodologia
- 6 Cronograma
- 7 Viabilidade da proposta
- 8 Resultados esperados
- 9 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).



A. Basit, W. S. Qureshi, M. N. Dailey, and T. Krajník.

Joint localization of pursuit quadcopters and target using monocular cues.

Journal of Intelligent & Robotic Systems, pages 1–18, 2014.



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 deLisboa. Dissertacio, 2009.

Referências II



J. A. F. JUNIOR.

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

Master's thesis, IME, 2009.



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.

Referências III



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

Flight pid controller design for a uav quadroter.

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



P. Saranrittichai, N. Niparnan, and A. Sudsang.

Robust local obstacle avoidance for mobile robot based on dynamic window approach.

In *Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON), 2013 10th International Conference on*, pages 1–4. IEEE, 2013.

Obrigado

bsgiovanini@gmail.com

