

Drone Otimizado para operações autônomas em instalações petrolíferas

Team Description Paper

Leonardo L. Pereira · Alessandro da
C. Menegon · Artur D. Paparounis ·
Bárbara Bueno · Bento C. Brandani ·
Bruno M. Santos · Celina W. Lee ·
Enzo B. P. Ferreira · Felipe A. Ribeiro ·
Felipe Beserra · Felipe C.L. Namour ·
Fernanda A. Kimura · Gabriel P. de
Souza · Gabriel R. da Silva · Guilherme
S. Gabriel · João Pedro A. Cezar ·
João Pedro M. Soares · Julia S. de
Mello · Larissa de S. Fontes · Lucas S.
Bertan · Miyuki Y. Santos · Murilo F.
A. Batista · Pedro P. Fuoco · Rafael B.
Sousa · Rafael F. Gil · Sophia Celine
R. A. Pereira · Thomas M. C. Lutes ·
Wesley de O. e Silva ·

Received: date / Accepted: date

Resumo - Para a realização das missões, a equipe busca interligar os diversos âmbitos na construção de um drone autônomo. A partir dos requisitos da competição, a produção se inicia no frame e no material a ser utilizado, segue para a escolha de componentes e, por fim, é feito o código correspondente às tarefas específicas propostas, em software open-source. O TDP a seguir relata esse processo e a pesquisa envolvida nele.

Palavras-Chave : Robótica Aérea, Aplicação Offshore, Hardware, Visão Computacional

Leonardo Leite Pereira
Tel: +55 31 98959-0204
Pedro Pimentel Fuoco
Tel.: +55 11 99204-3338
Centro Interdisciplinar de Tecnologias Interativas
Universidade de São Paulo
São Paulo - SP - Brasil
E-mail: equipeskyrats@gmail.com
Vídeos: <https://tinyurl.com/Skyrats2022>
Github: <https://github.com/SkyRats>

1 INTRODUÇÃO

O projeto de desenvolvimento de um sistema robótico aéreo com aplicações offshore está definido de acordo com os propósitos de cada fase da competição. Logo, entre os desenvolvimentos da equipe, são alguns principais os mecanismos de visão computacional, as ferramentas de controle e o de transporte de cargas. Para realização dessas tarefas, também é necessário a elaboração de um drone com estrutura resistente e leve e de um sistema eletrônico que comporte os componentes de propulsão, sensoriamento e se processamento do veículo aéreo. Parte dos avanços podem ser vistos nos vídeos encontrados na *pasta do Google Drive*.

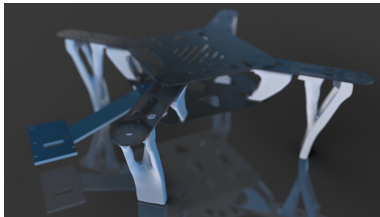
2 DESENVOLVIMENTO DO FRAME

2.1 Otimização

O design do frame iniciou-se pela distribuição dos componentes entre duas placas. Foi levado em conta interferências entre os componentes, a distribuição uniforme dos pesos e a minimização do espaço ocupado.

A partir dessa etapa foi utilizada a técnica de otimização topológica para gerar uma estrutura leve que ainda pudesse conectar as partes do drone da maneira mais resistente possível. Para definir as condições de entorno, foram avaliadas as forças e os torques aos quais o frame seria submetido, além de condições de simetria, vibração e máxima deformação para pontos específicos.

O objetivo desse processo foi gerar um frame extremamente leve mas que resistente aos esforços submetidos, aumentando a eficiência do drone e reduzindo os esforços necessários pelos motores, o que permite um voo mais silencioso.



(a) Frame - Primeira Versão



(b) Frame - Segunda Versão

Fig. 1: Versões do Frame

2.2 Manufatura

Para a manufatura foram utilizados dois materiais principais: filamento PLA para as peças impressas e um compósito produzido pela equipe de fibra de vidro e resina poliéster. O uso de PLA possibilitou a produção de peças com formatos que não seriam fabricados com métodos além da manufatura aditiva, além de que permitiu uma rápida produção de peças para substituição de peças quebradas em uma eventual queda.

A fabricação das placas de fibra de vidro tornou viável a adaptação das peças exatamente aos esforços que seriam submetidos, variando as espessuras entre as partes do drone para garantir peças extremamente resistentes. As placas de fibra de vidro foram cortadas com uma router CNC para atingir as tolerâncias necessárias para a montagem.

3 DESENVOLVIMENTO ELÉTRICO

3.1 Sinalização

Para o funcionamento e desenvolvimento das aplicações objetivadas, é necessário um sistema eletrônico capaz de captar as imagens advindas dos displays por meio de uma câmera. Assim, é possível interpretá-las com visão computacional e mostrar pelo buzzer, com um apito sonoro, e o sistema de iluminação LED, que piscará vermelho se o sensor analisado indicar uma tubulação defeituosa, se o valor do percentual do gás ou o valor de ajuste de zero estiverem fora de conformidade.

3.2 Sistem Embarcado

Para que a ligação entre os componentes seja mais limpa e eficaz, será utilizada uma placa que conectará o mecanismo de prender a caixa, o buzzer e os LEDs, reduzindo o uso de fios e, conseqüentemente, o peso total do drone. A tensão de alimentação dos componentes é igual, exceto pela do buzzer. Assim, tal tensão passará pela placa e alimentará todos os componentes conforme estes são exigidos pelas missões. Para o buzzer, será ainda instalado um regulador que reduzirá o potencial advindo da placa para atender a tensão nominal do buzzer.

3.3 Eletroímã

O eletroímã é um dispositivo eletromagnético que ao ser alimentado por corrente elétrica gera um campo magnético. Ele será utilizado durante a fase 4, na qual a estratégia foi pensada levando em consideração que cada caixa possuirá uma fina placa de metal. Utilizando as dimensões dadas e o peso da

caixa, foi dimensionado um eletroímã capaz de carregar a caixa independente do papel fosco por cima.

4 VISÃO COMPUTACIONAL

4.1 Posicionamento

O controle e a estabilização são desafios constantes quando tratamos de sistemas naturalmente instáveis, categoria na qual os drones se encaixam, para isso é necessário a obtenção das velocidades e acelerações do drone, e dessa forma, pode-se descobrir onde o drone se encontra em relação ao espaço.

Existem diversas formas de obter os dados que permitem o controle posicional do VANT, sendo a forma que utilizada pela equipe chamada SLAM visual. Esse método utiliza "features" do cenário, ou seja, pequenos detalhes da imagem que são mapeados e através da variação destes pela imagem é calculada a velocidade e aceleração do drone, que através de um processo de integração retornam a posição.

Para realizar esse método de SLAM visual foi escolhida a Intel RealSense Tracking Camera T265, que conta com a vantagem do processamento ser integrado em seu próprio hardware. Essa característica é um grande diferencial da RealSense T265, pois poupa um grande uso de processamento do computador de bordo, e permite que ele seja utilizado para as outras etapas da missão.

4.2 Centralização com controle PID

Para a necessidade de centralização do drone em cima de um alvo, muito útil para drones autônomos e de uso recorrente nas fases da competição, a equipe desenvolveu um algoritmo dedicado a calcular a distância entre o pixel central do alvo e o centro da imagem, para ser usado como *setpoint* do algoritmo de controle.

Adota-se a estratégia de controle PID, que é amplamente utilizada na indústria de forma geral, inclusive na controladora de voo que será utilizada.

Durante a centralização, o drone está constantemente mandando um *feedback* de sua posição em relação ao centro do alvo, o "erro", com o algoritmo mencionado acima. A disparidade é processada pelo sistema PID e tem como saída o controle dos motores que, de forma precisa e segura, realizam esforços para centralizar aeronave.

Vale a pena enfatizar que essa solução é modular, aceitando diversos tipos de alvos, desde que possam ser detectados por visão computacional com a câmera que aponta para baixo do drone. Isso será citado mais pra frente nesse artigo.

4.3 Identificação e leitura de QR codes

Os *QR Codes* são estruturas de códigos de barra bidimensionais que permitem a codificação de informações. No caso, a aplicação projetada é voltada para a identificação de uma das cinco letras do alfabeto - A, B, C, D ou E - que indicam ao drone para qual base é preciso dirigir-se subsequentemente.

No processo de identificação de *QR Code* por Visão Computacional, são feitas transformações na imagem e são encontrados padrões que correspondem aos *QR Codes*. Essas características são usadas nos cálculos da correção de distorções que a imagem possa ter. Com base nisso, o algoritmo interpreta como identificar essas figuras.

De forma aplicada, a detecção dos *QR Codes* é feita com o uso do software **zbar**, em conjunto com **OpenCV**, para identificação e decodificação do código. Na figura 2 tem-se a detecção de um código QR, além da leitura dos dados contidos nele. Por fim, em veículos aéreos, como drones, é feita a centralização acima do *QR Code*, e então aproxima-se até que a detecção seja realizada. Esse processo utiliza ferramentas de controle e de visão computacional, conforme explicado na seção 4.2.



Fig. 2: Detecção do QR Code e de seu conteúdo

4.4 Detecção de Cruz

No processo de detecção da cruz, as imagens capturadas pela câmera do drone são pré-processadas com ferramentas da biblioteca **OpenCV** para tratar e analisar frames, com o intuito de encontrar o centro da cruz em relação ao drone.

A primeira etapa desse processo consiste no tratamento de cores. Nela a imagem original é transformada em uma binária, branca e preta. Em seguida, o reconhecimento é realizado através da obtenção dos contornos das formas, o que leva a uma aproximação para polígonos. Assim é possível verificar quais figuras brancas são boas candidatas a terem formato de cruz. O próximo passo é verificar as angulações entre as 12 arestas da figura, os quais devem ser todas ortogonais entre si.

Por fim, para distinguir a orientação das curvas nessa imagem 2D, as arestas são tratadas como vetores e multiplicadas vetorialmente quando compartilham o mesmo vértice. Essa operação resulta em vetores linearmente independentes ao plano da imagem, que “saem” ou “entram” nele. Isso possibilita a análise da orientação e do sentido dessas arestas, o que torna possível concluir se a forma sob análise tem o formato procurado.

Caso haja uma cruz na imagem, seu centro é encontrado e enviado para a etapa de controle do drone para que o pouso seja realizado.

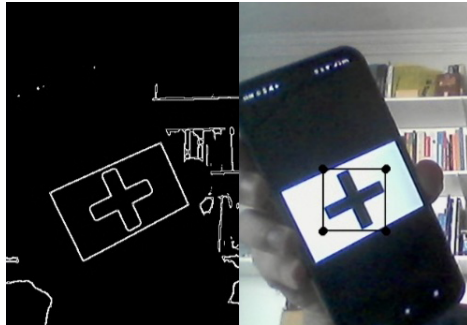


Fig. 3: Aplicação do algoritmo de detecção de uma cruz

4.5 Leitura de cores

O reconhecimento de cores é um ferramenta recorrente no mundo da robótica. Tendo em vista as diversas utilidades dessa tecnologia, faz-se notável a sua aplicação na indústria petrolífera, especialmente na manutenção e no monitoramento de oleodutos. No algoritmo de detecção de cores, utiliza-se o paradigma de máscara de cores, no qual se intersecciona uma palheta de colorações apropriadas para a detecção com o escopo de cores HSV de uma imagem, obtendo-se uma visualização filtrada em preto (partes não interseccionadas) e branco (partes interseccionadas). Além disso, esse algoritmo conta com uma calibração do nível de dilatação e de erosão da imagem. A dilatação consiste em uma expansão da imagem, somando mais pixels aos limites do objeto visualizado. Já a erosão, por sua vez, subtrai pixels desses limites, ou seja, aumenta as regiões escuras, enquanto a dilatação aumenta as regiões claras. Desse modo, o uso

em conjunto de valores adequados de dilatação e de erosão permite uma melhor qualidade da imagem gerada após a aplicação das máscaras e uma melhor identificação de objetos para os fins necessários.

Ademais, foi criado outro algoritmo para a calibração da máscara de cores citada anteriormente, ou seja, uma simulação do código anterior, mas no qual se pode alterar o conjunto de intersecção com as cores da imagem e obter em tempo real a resposta do algoritmo em uma situação experimental. Portanto, uma vantagem dessa organização é a capacidade de adaptação ao contexto da competição, já que condições ópticas, como a luminosidade, podem diferir do planejamento feito pela equipe em ambiente controlado. Posteriormente, a máscara pertinente obtida nessa simulação é aplicada no código principal.

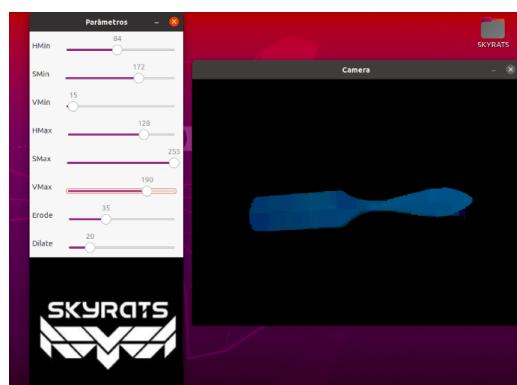


Fig. 4: Calibração para a identificação de um objeto azulado

A utilização dessa estrutura na competição pleiteia a localização e a leitura dos sensores de monitoramento de defeito na tubulação, sendo um deles verde (sinaliza a ausência de defeitos) e outro vermelho (detecção de defeito), usando a calibração para diminuir riscos ambientais.

5 TESTES

5.1 Cenário simulado

A simulação é uma das partes primordiais de um projeto. Ela busca, antes de efetivamente utilizar o drone, verificar o funcionamento das suas aplicações embarcadas sem depender da máquina fisicamente. Isso economiza tempo, dinheiro e minimiza erros e danos à estrutura do drone.

Para a competição de 2022, utilizamos ferramentas open source, dentre elas o Blender e o Gazebo. O Blender foi utilizado para modelagem do cenário. Após isso, os arquivos de cada estrutura foram exportados para o Gazebo e então, texturizadas. Ainda no Gazebo, foi adicionado o modelo do drone com

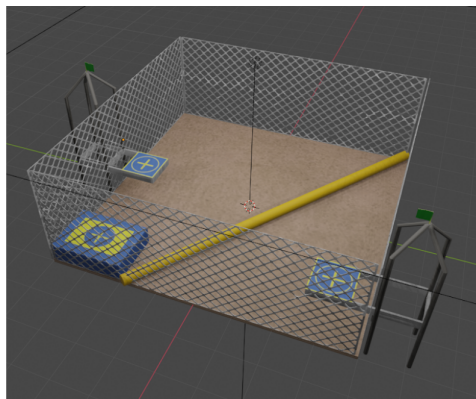


Fig. 5: Simulação modulada no Blender

os dispositivos utilizados. A partir desse ponto, todas as etapas da competição foram realizadas em simulação, desde a criação de bases em pontos aleatórias para mapeamento, até a identificação de erros no tubo, valores em displays e transporte de caixas.

5.2 Cenário Físico

Para o teste do funcionamento dos códigos nos robôs voadores, também foi elaborado um cenário em tamanho real com materiais de baixo custo, para simular o ambiente da competição e testar os drones e seus voos autônomos. Para o display foi confeccionado uma chapa de papelão plastificada, de forma a permitir a escrita de qualquer número no intervalo descrito nas regras. Para as bases, a caixa e o oleoduto foram utilizados papelão, isopor, cartolina e espuma vinílica acetinada (EVA). Esta etapa possibilita a prevenção de erros práticos que possam ocorrer fora do ambiente virtual.

Referências

1. BRADSKI, G. **The OpenCV Library**. 2000. Artigo - Dr. Dobb's Journal of Software Tools, 2000.
2. MARQUES, R. P. **Espaço de estados: Um projeto de controle**. 2021. Notas de aula - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2021.
3. CASTRUCCI, P. B. L.; BITTAR, A.; SALLES, R. M. **Controle Automático**. 2018. Livro - Editora LTC, São Paulo, 2018.
4. BELUSSI, L. F. F. **Detecção de códigos QR em imagens com enquadramento arbitrário**. 2012. Tese (Mestrado em Ciências) - Instituto de Matemática e Estatística, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.
5. LI, Z.; HUANG, J. **Study on the use of Q-R codes as landmarks for indoor positioning: Preliminary results**. 2018. IEEE/ION Position, Location and Navigation Symposium (PLANS), 2018, pp. 1270-1276, doi: 10.1109/PLANS.2018.8373516.