



INTRODUÇÃO AO USO DO QUADRICÓPTERO CRAZYFLIE 2.1 E AI-DECK 1.1 NO MONITORAMENTO DE AMBIENTES

Gabriel Augusto de Melo Poli^{*1}, Gabriela Viera Lima¹, Laura Ribeiro¹

¹FEELT - Universidade Federal de Uberlândia

Resumo - O objetivo deste artigo é realizar uma breve apresentação do quadricóptero *Crazyflie 2.1* e da placa de expansão *AI-Deck 1.1*. Para verificar certas funcionalidades do conjunto formado pelo drone e a placa de expansão foram realizados dois testes iniciais utilizando exemplos disponibilizados pelo fabricante da aeronave não tripulada. O primeiro teste consiste em um *streaming* de vídeo simples utilizando uma rede *Wi-Fi* gerada pelo próprio drone, já o segundo teste, além de realizar a transmissão de vídeo via rádio, o *firmware* do veículo aéreo foi codificado para realizar a detecção de faces. Ambos os testes foram realizados com sucesso, e apesar de empecilhos como a baixa qualidade da imagem gerada e transmitida pelo drone, os resultados foram animadores e encorajam a continuidade do projeto. Para aplicações na Indústria 4.0 e na Agricultura 4.0, imagens geradas por câmeras acopladas a drones pode ser de grande importância, podendo ser utilizada no monitoramento em geral e identificação de falhas em ambas as aplicações.

Palavras-Chave - AI-Deck, Crazyflie, Detecção facial, Streaming de vídeo.

INTRODUCTION TO THE USE OF CRAZYFLIE 2.1 QUADCOPTER AND AI-DECK 1.1 IN ENVIRONMENTAL MONITORING

Abstract - The objective of this article is to provide a brief presentation of the *Crazyflie 2.1* quadcopter and the *AI-Deck 1.1* expansion board. To verify certain functionalities of the drone and expansion board combination, two initial tests were conducted using examples provided by the manufacturer of the unmanned aircraft. The first test involves simple video streaming using a *Wi-Fi* network generated by the drone itself, while the second test, in addition to performing video transmission via radio, involves coding the aerial vehicle's *firmware* to perform face detection. Both tests were successfully conducted, and despite obstacles such as the low quality of the image generated and transmitted by the

drone, the results were promising and encourage the continuation of the project. For applications in Industry 4.0 and Agriculture 4.0, images generated by cameras mounted on drones can be significant, used for general monitoring and fault identification in both applications.

Keywords - AI-Deck, Crazyflie, Facial detection, Video streaming.

I. INTRODUÇÃO

O presente trabalho apresenta os estudos iniciais sobre a aplicação do quadricóptero *Crazyflie 2.1* e a placa de expansão *AI-Deck 1.1* no monitoramento de ambientes, sendo eles internos, como em aplicações na Indústria 4.0, ou externos, voltados à Agricultura de Precisão. Para este estudo, foram executados dois testes iniciais de baixa complexidade que serão abordados na Metodologia e Resultados.

A Indústria 4.0 abriu caminho para um mundo onde as fábricas inteligentes automatizam e aprimoram muitos processos por meio de algumas das mais recentes tecnologias emergentes. Uma dessas tecnologias são os Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTS), que evoluíram muito nos últimos anos em termos de tecnologia (por exemplo, unidades de controle, sensores, estrutura de VANT) e tiveram redução significativa de custos. Os VANTS podem auxiliar a indústria em tarefas que podem ser automatizáveis ou ainda tediosas, como aquelas realizadas regularmente para determinar o inventário e preservar a rastreabilidade dos itens [1]. Além de melhorar a eficiência e a produtividade do ambiente industrial, os VANTS podem facilmente realizar inspeções de rotina e verificar a operação e os procedimentos de manutenção otimizados [2].

Além disso, eles podem realizar uma análise detalhada das condições do ambiente, seja através da reconstrução direta de superfícies ou avaliando a qualidade de seus componentes para determinar suas características ou status. Muitos dos ambientes nos quais os robôs são aplicados são complexos, como prédios de vários andares com escadas conectadas, superfícies irregulares etc. Além disso, os robôs estão sujeitos a restrições cinemáticas e, em muitas aplicações, o ambiente no qual eles estão localizados é desconhecido ou com pouca

* gabriel-melo-poli@outlook.com

informação, o que pode dificultar a exploração para um robô terrestre. Por essas razões e ainda, devido à recente queda de seus preços, houve um grande aumento no uso de robôs aéreos (comumente conhecidos como drones), especialmente minidrones e microdrones [3].

A utilização de drones para realização deste trabalho de monitoramento de máquinas se torna a cada dia mais comum, pois estes equipamentos atuam também em áreas que são impossíveis de serem acessadas por pessoas. Além disto, esta utilização aumenta o nível de detalhamento da inspeção uma vez que as câmeras possuem tecnologia, tais como zoom, visão termográfica que captam defeitos, que não são possíveis de enxergar a olho nu [4].

Além da aplicação na Indústria 4.0, é crescente a aplicação dos drones na Agricultura 4.0 ou Agricultura de Precisão (AP). A AP é um sistema de gestão do manejo, possibilitando monitoramento de fatores de produção, como germinação de sementes, detecção de falhas de plantio, contagem de plantas, altura de plantas, índice de clorofila, emissão dos estilo-estigmas, estresse hídrico, detecção de pragas e doenças, deficiência de nutrientes, entre outros [5].

O monitoramento aéreo com VANT é um meio de realizar o acompanhamento de diferentes culturas. O uso do drone permite a obtenção de imagens aéreas de grandes áreas com baixo custo, com maior frequência e com alta resolução (na escala de centímetros), o que viabiliza o uso desta ferramenta em larga escala. A estimativa de parâmetros biofísicos e bioquímicos com alta acurácia e baixo custo são importantes para a evolução das práticas de manejo e do potencial produtivo de sistemas de produção dentro dos preceitos da Agricultura de Precisão. O alto rendimento e precisão espacial na estimativa destas características por meio de imagens aéreas obtidas por drones pode ajudar na avaliação do comportamento de genótipos, práticas de manejo e impactos de estresses bióticos e abióticos, contribuindo na tomada de decisão dos produtores [6].

Independente da tarefa a ser realizada, uma exploração eficiente do ambiente é essencial. Para inspecionar um ambiente de forma automatizada, é necessário ter um plano do caminho que o robô precisará percorrer dentro do ambiente. As estratégias para planejamento de trajetórias são comumente conhecidas como o Problema de Planejamento de Caminho (PPC). Dadas as posições de partida e chegada do robô, o objetivo é encontrar um caminho que leve o robô da posição inicial à posição final, minimizando alguns custos e evitando colisões com possíveis obstáculos presentes ao longo do caminho. Dependendo da aplicação específica, o custo a ser minimizado pode ser o tempo, o número de mudanças de direção, o número de frenagens ou o consumo de energia [3].

II. AERONAVE CRAZYFLIE

Hoje em dia, diversos centros de pesquisa e universidades técnicas de renome mundial utilizam as possibilidades oferecidas pelo *Crazyflie 2.0* e *2.1*, fabricados pela companhia suíça *Bitcraze AB*. Estão sendo realizadas pesquisas no contexto de métodos de identificação paramétrica para o modelo matemático de sua dinâmica, bem como para o projeto de algoritmos de controle de posição e trajetória para um único robô, especialmente em ambientes complexos. Além disso, o tamanho nano do *Crazyflie 2.x* também é adequado para

trabalhar em grupos (enxames) de robôs, como: planejamento de trajetória online em ambientes complexos, formações de grande porte ou para explorar o campo da realidade mista [7]. O *Crazyflie 2.1* é apresentado na Figura 1.

Figura 1: Drone *Crazyflie 2.1*.



A. Hardware

O *Crazyflie 2.x* é um nano quadricóptero equipado com quatro motores de corrente contínua de aproximadamente 7x16 mm, sem núcleo, com tensão e corrente nominais de 4,2 V e 1000 mA respectivamente, e relação de velocidade por tensão de 14000 RPM/V. Acoplado ao eixo dos motores, estão um conjunto de hélices plásticas de 45 mm. As unidades de propulsão (motor e hélice) são fixadas diretamente na placa de circuito impresso do VANT. Dessa forma, ele mede aproximadamente 92 mm entre eixos diagonalmente opostos. Com massa aproximada de 27 g, a aeronave é alimentada por uma bateria de Polímero de Lítio de uma célula (3,7 V), com 240mAh de capacidade de armazenamento, 20x30x7 mm e 7,1 g. Considerando a massa da bateria, a carga útil que este modelo suporta é de aproximadamente 15 g [7], [8].

O controle lógico do drone é realizado por dois microcontroladores: o principal, composto por um processador ARM Cortex-M4 STM32F405 de 32 bits, funcionando a 168 MHz com 192 KB de SRAM; e o secundário, baseado em um processador ARM Cortex-M0 nRF51822, utilizado exclusivamente para gestão energética e comunicação por radiofrequência. Sua comunicação com a estação em terra (computador) ocorre utilizando o *Crazyradio PA*, mostrado na Figura 2, dispositivo USB equipado com um circuito integrado que realiza a transcrição entre rádio de 2,4 GHz e USB, cujo alcance pode chegar a um quilômetro em linha de visão, a uma taxa de transmissão máxima de 2 Mb/s em pacotes de 32 bytes [7], [8].

Figura 2: Crazyradio PA.



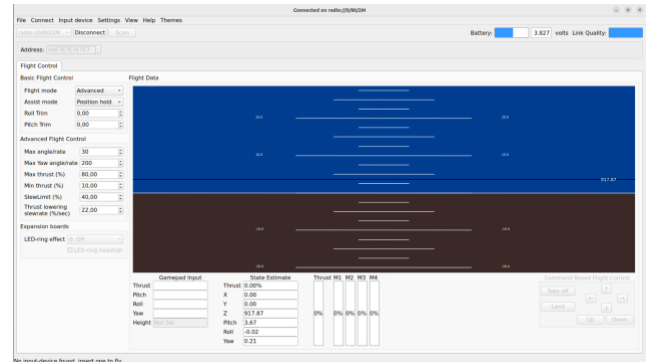
O VANT também conta com um sistema de sensores embarcados baseados em uma Unidade de Medição Inercial (UMI) de 10 graus de liberdade (GDL) composta pelo MPU-9250, que conta com giroscópio, acelerômetro e magnetômetro nos três eixos, além de um barômetro adicional de alta precisão. Todos os sensores fornecem medições para estabilizar o voo e que podem ser acessadas por meio de barramentos como UART, I2C e SPI. Toda a arquitetura de *hardware* é de código aberto, assim como o *software* [7], [8].

B. Software

Iniciado em 2009, o projeto *Crazyflie* propôs desenvolver uma plataforma de desenvolvimento de voo versátil. Assim, no final de 2015, a comunidade científica passou a ter acesso ao código-fonte do *Crazyflie 2.0* e à documentação do produto. A possibilidade de alterar *firmware* e *software* abriu portas para uma variedade de propósitos educacionais e de pesquisa, além de possibilitar o compartilhamento de conhecimento no fórum oficial da fabricante hospedado no *GitHub* [7].

O *firmware* do VANT é baseado no sistema operacional de tempo real de código aberto (*FreeRTOS*). O *Crazyflie Python Client - CPC* é o *software* padrão disponibilizado pela fabricante e sua tela inicial e exibida na Figura 3. Como o nome sugere, ele é escrito principalmente em *Python*, mas possui várias versões para diferentes sistemas operacionais nas linguagens *Ruby*, *C*, *C++*, *C#*, *Javascript* e *Java*. O *software* CPC apresenta muitas funcionalidades úteis, como permitir o controle do quadricóptero usando o controlador predefinido, exibir em tempo real os parâmetros de voo mais importantes e a qualidade da conexão entre dispositivo aéreo e base terrestre, ajustar valores de controladores específicos, além realizar a gravação dos dados de voo e apresentá-los em gráficos. Por fim, a biblioteca em *Python* anexada ao *software* permite e encoraja a personalização adicional do CPC [7].

Figura 3: Software Crazyflie Python Client - CPC.



III. PLACA DE EXPANSÃO AI-DECK

A placa *AI-Deck*, apresentada na Figura 4, é uma plataforma de processamento de inteligência artificial complexa em tempo real equipada com um sensor de imagem monocromático.

Figura 4: Placa de expansão *AI-Deck*.



O componente principal desta placa é o processador *IoT GAP8*, construído em arquitetura *RISC-V* e nove núcleos. Graças a este processador, o *AI-Deck* expande as capacidades computacionais e possibilita a execução de cargas de trabalho complexas baseadas em inteligência artificial a bordo, com a possibilidade de alcançar capacidades de navegação totalmente autônoma. Conectada diretamente ao processador, encontra-se a Himax HM01B00, uma câmera de 320x320 *pixels*, monocromática e de ultrabaixa potência. Junto ao processador principal, encontra-se o microcontrolador ESP32, que adiciona conectividade *Wi-Fi* com a possibilidade de transmitir imagens, bem como lidar com o controle [9].

O módulo *AI-Deck* pode ser alimentado com tensão entre 3 V e 5 V, drenando uma corrente máxima de 300 mA. Com dimensões aproximadas de 30x52x8 mm e 4,4 g, assim, a placa pode ser conectada tanto acima, exemplificado na Figura 5, como abaixo do *Crazyflie* [9].

Figura 5: Drone *Crazyflie 2.1* e a placa de expansão *AI-Deck*.



IV. METODOLOGIA

As primeiras atividades realizadas dizem respeito à montagem física do drone, uma vez que este, ao ser adquirido, vem completamente desmontado, como mostra a Figura 6. Após a montagem, foram realizados os testes recomendados pelo fabricante, além da atualização do *firmware* utilizando o CPC.

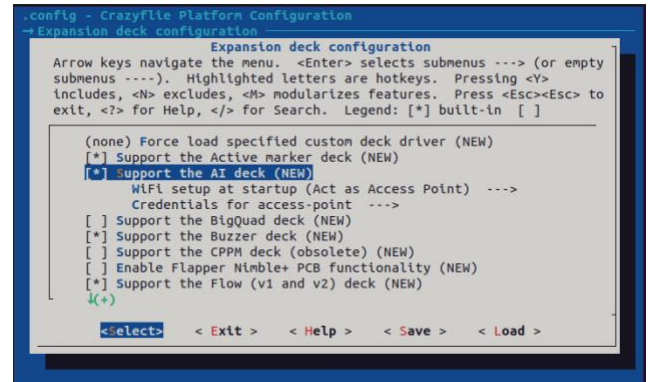
Figura 6: Peças, incluindo sobressalentes, do *Crazyflie 2.1*.



Após a montagem do quadricóptero e utilizando as instruções presentes no repositório oficial da *Bitcraze* [10], foi possível criar um *container* contendo todas as dependências necessárias para executar o *Software Development Kit (SDK)* do processador *GAP8*, e realizar a sua codificação com base nos exemplos de teste disponibilizados pela *Bitcraze AB*. Além disso, também foi realizada a codificação do microcontrolador *ESP32* para que este pudesse gerar um sinal *Wi-Fi* e transmitir as imagens capturadas pela câmera presente no *AI-Deck*.

Para habilitar o sinal *Wi-Fi* responsável pelo *streaming* de vídeo, foi utilizado o *Menuconfig*, programado para o *Crazyflie*, do compilador *KBuild*, semelhante ao utilizado pelo kernel do *Linux*. No menu de configuração, o *ESP32* foi configurado para se transformar em um ponto de acesso *Wi-Fi*, neste mesmo menu também foi adicionado um *SSID* e uma senha à rede criada. A Figura 7 apresenta a interface do menu. Toda alteração de *firmware*, seja nas placas de expansão ou no microcontrolador principal do *Crazyflie*, é enviada para o dispositivo via rádio, através do *Crazyradio PA*.

Figura 7: Interface de configuração do *Crazyflie*.



Para executar o primeiro teste, *Wi-Fi Video Streamer*, foram utilizadas algumas linhas de comandos executadas no terminal a partir do repositório do exemplo, baixado previamente do repositório do fabricante [10]. Alguns comandos e breve descrição de cada um serão apresentados a seguir:

- `docker run --rm -v ${PWD}:/module aideck-with-autotiler tools/build/make-example examples/other/wifi-img-streamer image` - este conjunto de comandos utiliza o *container* criado previamente para compilar o exemplo de *Streaming* de Vídeo via *Wi-Fi*.
- `cfloader flash examples/other/wifi-img-streamer/BUILD/GAP8_V2/GCC_RISCV_FREERTOS/target.board.devices.flash.img deck-bcAI:gap8-fw -w radio://0/2M/80` - este conjunto é utilizado para carregar o exemplo compilado, para a aeronave utilizando o *Crazyradio PA*.
- `python3 opencv-viewer.py` - este comando, por fim, executa o código em *Python* que exibe as imagens enviadas pelo drone.

Para o segundo teste, que utiliza o exemplo *Face Detection*, o procedimento é o mesmo, contudo, o repositório do exemplo e os comandos, com exceção do comando para exibir as imagens recebidas, que permanece o mesmo, passam a ser outros, mas com as mesmas funções:

- `docker run --rm -v ${PWD}:/module aideck-with-autotiler tools/build/make-example examples/image_processing/FaceDetection clean model build image` - utiliza o *container* criado previamente para compilar o exemplo de *Deteção Facial*.
- `cfloader flash examples/image_processing/FaceDetection/BUILD/GAP8_V2/GCC_RISCV_FREERTOS/target.board.devices.flash.img deck-bcAI:gap8-fw -w radio://0/2M/80` - carregar o exemplo compilado para a aeronave utilizando o *Crazyradio PA*.

V. RESULTADOS

O projeto se encontra em sua fase inicial de desenvolvimento, dessa forma, os resultados obtidos até o momento são parciais e evoluirão até o fim do projeto, cujo principal objetivo é monitorar ambientes para operação de

VANTs especializados na e detecção de falhas na Indústria e Agricultura 4.0.

Na estação base, utilizando o exemplo de teste disponibilizados pela fabricante, contextualizados no tópico anterior), foi possível obter as imagens enviados via *Wi-Fi* pelo drone, decodificá-las e exibi-las na tela do computador. A Figura 8 exibe uma imagem capturada pelo drone.

Figura 8: Imagem capturada pela câmera monocromática presente no *AI-Deck*.



Visando obter imagens melhores, optou-se pela substituição do sensor ótico presente na placa de expansão. O modelo substituído disponibilizado pela *Bitcraze AB* é o Himax HM01B0-ANA, um sensor com resolução máxima de 324x324 pixels, ultrabaixa potência e capaz de gerar imagens coloridas [11].

Seguindo os mesmos passos descritos para geração das imagens monocromáticas, foi possível obter imagens coloridas, contudo, vale ressaltar que, devido ao fato de o sensor ótico ser de baixo consumo energético, somado a degradação de qualidade devido à largura de banda estreita, uma vez que o envio de dados ocorre via *Wi-Fi*, as imagens geradas não possuem uma ótima resolução. A Figura 9 apresenta uma imagem colorida capturada pelo *AI-Deck* após a substituição da câmera.

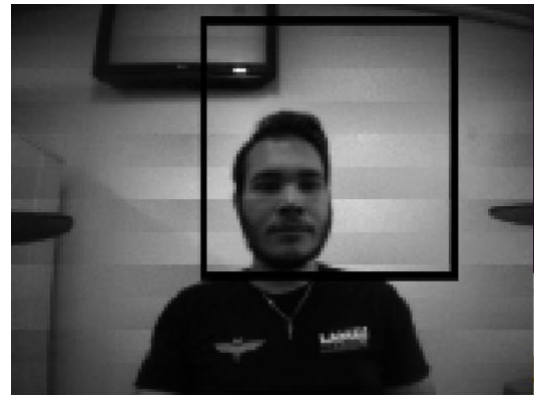
Figura 9: Imagem capturada pela câmera colorida.



Após a execução do exemplo básico de *streaming* de vídeo via *Wi-Fi*, buscou-se avançar ainda mais na compreensão do funcionamento e no poder de processamento do *AI-Deck*. Para isto, foi executado um *firmware* de detecção facial (não deve ser confundido com reconhecimento facial). A Figura 10

apresenta uma imagem onde é possível visualizar um quadro preto destacando a face detectada.

Figura 10: Imagem capturada pelo drone destacando o rosto detectado.



VI. CONCLUSÕES

Neste artigo foram apresentados os resultados iniciais envolvendo o VANT *Crazyflie 2.1*. As imagens obtidas utilizando a placa *AI-Deck* são as primeiras geradas pelos drones adquiridos pelo grupo de pesquisa que se dedica ao estudo das aplicações destas aeronaves.

Os resultados apresentados são animadores e encorajam a continuidade dos estudos referentes ao *AI-Deck*, que estão em seu estado inicial. A obtenção de imagens pelo drone são um grande passo para alcançar o objetivo final do projeto, uma vez que estas imagens serão utilizadas para realizar o mapeamento do ambiente no qual o veículo está localizado.

Agora, a partir das imagens obtidas, pretende-se realizar o tratamento destas, utilizando *softwares* como *MatLab*, para mapear o local e reconhecer padrões para detecção de falhas na Indústria e Agricultura 4.0. Ainda podem ser notados alguns empecilhos, como a qualidade da imagem gerada. Como pode ser observado no item IV, devido à baixa resolução do sensor ótico utilizado somado à degradação de qualidade devido à transmissão via rádio, a resolução das imagens recebidas na estação em terra é baixa, dessa forma, o reconhecimento de objetos e padrões pode ser dificultada.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Laboratório de Automação, Sistemas Eletrônicos e Controle - LASEC, pela colaboração neste trabalho.

REFERÊNCIAS

- [1] FERNÁNDEZ-CARAMÉS, Tiago M. et al, Towards an autonomous industry 4.0 warehouse: A UAV and blockchain-based system for inventory and traceability applications in big data-driven supply chain management. *Sensors*, v. 19, n. 10, p. 2394, 2019.
- [2] JAVAID, Mohd et al. Exploring contributions of drones towards Industry 4.0. *Industrial Robot: the international*

- journal of robotics research and application, v. 49, n. 3, p. 476-490, 2022.
- [3] TRIPICCHIO, Paolo et al. Smooth Coverage Path Planning for UAVs with Model Predictive Control Trajectory Tracking. *Electronics*, v. 12, n. 10, p. 2310, 2023.
- [4] TONDELO, Patricia Geittenes; BARTH, Fernando. Análise das manifestações patológicas em fachadas por meio de inspeção com VANT. *PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção*, v. 10, p. e019009-e019009, 2019.
- [5] PAIVA, Diogo Zappa. A utilização de drones na agricultura: uma revisão bibliográfica entre 2012 e 2022. 2023. *Tese de Doutorado*.
- [6] DE SOUZA, Daniel C. et al. Auxílio de tomada de decisão no manejo e planejamento do plantio de soja com o processo de segmentação de imagens. *Revista Eletrônica Argentina-Brasil de Tecnologias da Informação e da Comunicação*, v. 1, n. 11, 2019.
- [7] GIERNACKI, Wojciech et al. Crazyflie 2.0 quadrotor as a platform for research and education in robotics and control engineering. In Proc.: *2017 22nd International Conference on Methods and Models in Automation and Robotics (MMAR)*. IEEE, 2017. p. 37-42.
- [8] PINTO, Marcela P. et al, “Parametrização do quadricóptero *Crazyflie 2.0*”. In Proc. *XVII Conferência de Estudos em Engenharia Elétrica*, vol. 01, pp. 1-4, 2019.
- [9] *Bitcraze AB*, “AI-deck 1.1 - Rev 2”, Data Sheet, *Bitcraze AB*, pp. 1-2, 2022.
- [10] *GitHub Bitcraze*. Acedido em 17 de Julho de 2023, em: <https://github.com/bitcraze>.
- [11] *Bitcraze AB*, “AI-deck color camera module - Rev 1”, Data Sheet, *Bitcraze AB*, pp. 1-2, 202.