SISTEMA EXPERIMENTAL PARA COLETA DE DADOS DE MOTOR E BATERIA EM VANTS APLICADO À IDENTIFICAÇÃO DE SISTEMAS.

Antonio Mairton Bezerra Lima Júnior[1]
Lidya Fernandes Da Silva[2]
Vandilberto P. Pinto[3]

RESUMO

O uso de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs) em diversas aplicações tem se tornado comum devido à sua agilidade e facilidade nas manobras. Os VANTs normalmente utilizam um motor brushless por serem leves, compactos, capazes de fornecer um torque significativo e uma ampla faixa de rotação. Para o desenvolvimento do trabalho foi construído um sistema experimental para obtenção de dados característicos do motor brushless A2212-13T de 1000kv, bem como da descarga da bateria Lipo 3S 12C de 11.1V. Este trabalho tem como objetivo encontrar a modelagem matemática do conjunto motorhélice para descarga da bateria e velocidade do motor utilizando técnicas de identificação de sistemas. Foram aplicadas as estruturas de modelos ARMAX (Autoregressive moving average with exogenous input), OE (Output Error) e o NARX (Nonlinear AutoRegressive with eXogenous inputs) a partir de dados obtidos experimentalmente. Como resultados pode-se destacar que o modelo não linear NARX apresentou a maior acurácia comparando-o com os outros dois modelos.

Palavras-chave: VANTs; Motor Brushless; identificação de sistemas; estimação.

Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira - UNILAB, Instituto de Engenharias e Desenvolvimento sustentável - IEDS, Discente, antoniomairton@aluno.unilab.edu.br[1]
Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira - UNILAB, Instituto de Engenharias e Desenvolvimento sustentável, Discente, lidya.s@aluno.unilab.edu.br[2]
Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira - UNILAB, Instituto de Engenharias e Desenvolvimento sustentável - IEDS, Docente, vandilberto@unilab.edu.br[3]

ISSN: 2447-6161

INTRODUÇÃO

Os Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs), ou drones, têm se destacado por sua ampla gama de aplicações em diversas áreas, como monitoramento de trânsito, cinematografia, vigilância, segurança pública e até inspeções em infraestruturas críticas de diversas ramos, como dutos e linhas de transmissão(Candido, 2015), (Rodriguez; Cobano; Ollero, 2016), (Mademlis et al., 2019), (Zormpas et al., 2018), (Bisio et al., 2022). Além dessas aplicações civis, os VANTs também desempenham papéis importantes em operações militares, como supervisão de áreas de difícil acesso e missões de busca, resgate e reconhecimento. Entre os diferentes tipos de VANTs, os quadrirotores se destacam por sua versatilidade, oferecendo decolagem e aterrissagem vertical, simplicidade mecânica, agilidade durante o voo e baixo custo de construção (Zhang et al., 2016).

A modelagem matemática dos componentes de um VANT, especialmente do conjunto motor-hélice e da curva de descarga da bateria, tem sido objeto de diversos estudos. Pesquisas anteriores têm explorado técnicas de identificação de sistemas para prever o desempenho e a vida útil desses dispositivos como um todo e seus componentes. Por exemplo, Romio (2013) propôs um modelo paramétrico para estimar o tempo de vida de baterias de dispositivos móveis, enquanto Valer (2016) e Matos (2018) concentraram-se em modelos de propulsão eletromecânica de multi-rotores, utilizando técnicas de estimação de parâmetros para alcançar precisão com o menor número possível de interações. Dube e Pedro (2018) usaram técnicas de identificação de sistemas em manipuladores aéreos com rotores. Belge et al. (2020) estimaram a resposta dinâmica lateral de um VANT usando modelos paramétricos ARX, ARMAX e OE a partir de dados empíricos. Fatima et al. (2022) desenvolveu um mecanismo de estimativa com modelos ARX, ARMAX, BJ e OE para um VANT experimental com base em dados de voo.

Dada a importância da eficiência energética e o desgaste dos motores, estudos que se concentram na modelagem matemática tornam-se essenciais para melhorar o desempenho dos drones. O trabalho atual busca aplicar modelos paramétricos lineares ARMAX e OE, assim como o modelo não linear NARX, para identificar o comportamento do conjunto ESC-motor-hélice em relação à descarga da bateria e à velocidade do motor. Esses modelos foram construídos a partir de dados experimentais e têm como objetivo aprimorar o controle e a previsibilidade de desempenho dos VANTs, contribuindo para avanços na eficiência e durabilidade desses dispositivos.

METODOLOGIA

A identificação de sistemas permite a modelagem matemática de sistemas com pouco ou nenhum conhecimento prévio, classificada como caixa preta (sem conhecimento físico do sistema) ou caixa cinza (com alguma informação adicional). Para representar esses sistemas, são utilizados modelos paramétricos discretos que envolvem polinômios para descrever o comportamento das entradas e saídas.

No contexto de sistemas dinâmicos, o modelo ARMAX (Autoregressive Moving Average with Exogenous Input) combina entradas externas (exógenas) e ruídos para modelar a dinâmica do sistema. Ele utiliza polinômios para as variáveis de entrada, saída e ruído, permitindo expressar a saída como a soma de duas partes: uma que relaciona a entrada e outra que representa o efeito do ruído.

Outro modelo utilizado é o de Erro de Saída (OE), que simplifica a representação polinomial ao utilizar apenas dois polinômios. Esse modelo descreve a relação entre as entradas medidas e as saídas, incluindo o ruído branco como distúrbio aditivo na saída. O OE pode operar tanto no domínio do tempo quanto no da frequência, realizando estimativas com base em dados de entrada e saída.

O modelo NARX (Non-linear AutoRegressive with Exogenous Inputs) pertence a uma classe de sistemas não

ISSN: 2447-6161

lineares em tempo discreto. Ele relaciona a saída atual do sistema aos valores passados das entradas e saídas, além de incluir o ruído do sistema. Como a função que define essa relação geralmente não é conhecida, uma aproximação polinomial é usada para estimar o comportamento do sistema.

A validação dos modelos pode ser feita utilizando a métrica de erro NRMSE (raiz quadrada do erro médio quadrático normalizado), que compara a saída real do sistema com a saída estimada pelo modelo. Além disso, o tempo de execução computacional (TEC) é uma medida importante para avaliar a eficiência dos modelos.

Foi construída uma plataforma experimental utilizada para coletar dados de um motor brushless A2212-13T de 1000kv e de uma bateria LiPo 3S 12C de 11.1V e 5200mAh. Os componentes usados foram [1] Motor Brushless; [2] Sensor de efeito Hall; [3] Hélice; [4] ESC; [5] Arduino Micro; [6] Sensores de corrente e tensão; [7] Bateria; [8] Servo Tester; [9] Computador. A plataforma é mostrada na Figura 1 a seguir.

Fig. 1 Plataforma de testes.

A partir da montagem da plataforma, foram realizados testes com duas baterias idênticas, com 10 ensaios de descarga por bateria, onde o motor operava até que a bateria se esgotasse. Os dados coletados, como tensão e tempo de descarga, foram transferidos para o MATLAB para análise e modelagem matemática.

A curva de descarga da bateria foi processada aplicando-se um filtro digital de médias móveis para reduzir o ruído branco, melhorando a qualidade dos dados. A velocidade do motor se manteve estável durante os testes, não sendo necessária a aplicação de filtros. As curvas de descarga e de velocidade foram plotadas para análise visual, nas Figuras 2 e 3 respectivamente.

Fig. 2 Curvas de descarga da bateria antes e após a aplicação do filtro.

Fig. 3 Curva média de velocidade do motor.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir dos dados obtidos nos testes, foi utilizado o software MATLAB para a execução dos modelos matemáticos estudados, filtragem dos sinais obtidos e a plotagem dos gráficos. Essas informações, possibilitaram a análise dos dados de descarga da bateria e velocidade do motor, para que posteriormente fosse realizado a estimação e a validação dos dados matemáticos ARMAX, OE e NARX.

Inicialmente, para a curva de descarga da bateria, utilizou-se o modelo ARMAX considerando as seguintes especificações: na = 4, nb = 2, nc = 2, nk = 1. O resultado da validação do modelo é apresentado na Figura 4.

Fig. 4 Resultado da validação utilizando modelo ARMAX para os dados de descarga da bateria.

Em seguida, foi utilizado o modelo OE considerando as seguintes especificações: nb = 2, nf = 3, nk = 1. A Figura 5 mostra o resultado da validação utilizando o modelo.

Fig. 5 Resultado da validação utilizando modelo OE para os dados de descarga da bateria.

E por último, utilizou-se o modelo NARX com as seguintes especificações: na = 7, nb = 70, nk = 1. O resultado da validação usando o NARX é mostrado na Figura 6.

Fig. 6 Resultado da validação utilizando modelo NARX para os dados de descarga da bateria.

Para a modelagem da curva de velocidade do motor, foram utilizados os mesmos modelos matemáticos vistos anteriormente. Iniciando com o modelo ARMAX com as seguintes especificações: na = 8, nb = 5, nc = 3, nk = 3, foi obtido o seguinte resultado:

Fig. 7 Resultado da validação utilizando modelo ARMAX para os dados de velocidade do motor.

Para o modelo Erro de Saída (OE), foram inseridos os seguintes parâmetros s: nb = 2, nf = 3, nk = 1. Na figura 8, pode-se observar a curva de validação sobreposta da curva de estimação.

ISSN: 2447-6161

Fig. 8 Resultado da validação utilizando modelo OE para os dados de velocidade do motor.

Por fim, utilizou-se o modelo NARX com as seguintes especificações: na = 7, nb = 70, nk = 1. O resultado da validação usando o NARX é mostrado na Figura 9, onde a taxa de erro foi consideravelmente baixa.

Fig. 9 Resultado da validação utilizando modelo NARX para os dados de velocidade do motor.

Na Tabela 1 são apresentados os índices de desempenho NRMSE para cada um dos modelos matemáticos utilizados.

Tabela 1. Métricas para validação dos métodos.

Tipo de modelo	NRMSE	TEC
Descarga da bateria		
ARMAX	79,57 %	1,87s
OE	77,18 %	1,49s
NARX	83,58 %	0,91s
Velocidade do motor		
ARMAX	85,42 %	1,24s
OE	90,06 %	1,18s
NARX	95,45 %	0,90s

Em relação à descarga da bateria, observou-se que o modelo OE apresentou a menor acurácia de todas, 77,18%. E o modelo NARX apresentou a maior acurácia, de 83,58%, além de ter apresentado também o menor Tempo de Execução Computacional, de 0,91s. Já sobre a velocidade do motor, o modelo ARMAX apresentou a menor acurácia, 85,42%. Enquanto o modelo NARX obteve a maior acurácia e o menor TEC, 95,45% e 0,90%, respectivamente.

CONCLUSÕES

O presente trabalho apresentou a modelagem da descarga da bateria e velocidade do motor de um drone, usando os modelos matemáticos ARMAX, OE e NARX. A comparação dos resultados obtidos com os diferentes modelos foi feita em termos de dois índices de desempenho: a raiz quadrada do erro médio quadrático normalizado (NRMSE) e o Tempo de Execução Computacional (TEC). Dentre os modelos considerados no presente trabalho, pôde-se concluir que o modelo NARX é a melhor alternativa, pois requer menos esforço computacional e apresentou a maior acurácia comparando-o com os outros dois modelos.

ISSN: 2447-6161

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FUNCAP - Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico, ao professor Vandilberto P. Pinto, ao grupo de pesquisa PGERC - Grupo de Processamento e Gerenciamento de Energias Renováveis e Controle.

REFERÊNCIAS

Candido, A. D. S. Sistema de Gerenciamento do Voo de Quadri-rotores Tolerante a Falhas. Tese de Doutorado em Sistemas e Controle - Instituto Tecnológico de Aeronáutica , São José dos Campos, 2015.

Rodriguez, L.; Cobano, J. A.; Ollero, A. Wind Characterization and Mapping Using Fixed-Wing Small Unmanned Aerial Systems. 2016 International Conference on Unmanned Aircraft Systems, ICUAS 2016, p. 178–184, 2016.

Mademlis, I., Mygdalis, V., Nikolaidis, N., Montagnuolo, M., Negro, F., Messina, A., et al. (2019). High-level Multiple- Uav Cinematography Tools for Covering Outdoor Events. IEEE Trans. Broadcast. 65 (3), 627– 635. doi:10.1109/tbc.2019.2892585.

Zormpas, A., Moirogiorgou, K., Kalaitzakis, K., Plokamakis, G. A., Partsinevelos, P., Giakos, G., et al. (2018). Power Transmission Lines Inspection Using Properly Equipped Unmanned Aerial Vehicle (UAV), in Proceedings of 2018 IEEE International Conference on Imaging Systems and Techniques (IST) (Krakow, Poland: IEEE), 1–5. doi:10.1109/ist.2018.857714.

Bisio, I.S., Morando L., Recchiuto C.T e Sgorbissa. (2022). Social Drone Sharing to Increase UAV Patrolling Autonomy in Pre- and Post-Emergency Scenarios. Front. Robot. AI 9:820239. doi: 10.3389/frobt.2022.820239.

Zhang, K.; Chen, J.; Chang, Y. and Shi, Y. (2016). EKF-based LQR Tracking Control of a Quadrotor Helicopter Subject to Uncertainties. 42nd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, Florence, Italy, October 23-26pp.5426- 5431.

Romio, L. C. Modelagem matemática do eempo de vida de baterias Utilizando a teoria de identificação de sistemas 2013. 84 f. Dissertação (Mestrado em Modelagem Matemática) — Programa de Pós-Graduação em Modelagem Matemática, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul, 2013.

Valer, L. A. Modelo Matemático Arimax de um Propulsor Eletromecânico utilizado em Naves do Tipo Multirrotor. Dissertação de Mestrado - Universidade Regional do Noroeste Do Estado do Rio Grande do Sul (UNIJUÍ), Ijuí,2016.

Matos, D. B. (2018). Técnicas de Estimação de Parâmetros Utilizadas para a Modelagem Matemática de Propulsores Eletromecânicos. Dissertação (Mestrado). Disponível em: encr.pw/CvJzt. Acesso em: 25 mar. 2022. Ijuí-RS.

Dube C, Pedro JO (2018) Modelling and closed-loop system identification of a quadrotor-based aerial manipulator. J Phys Conf Ser 1016(1):012007.

Belge, E.; Hızır, K.; Parlak, A.; Altan, A.; Hacioglu, R. Estimation of small unmanned aerial vehicle lateral dynamic ˇ model with system identification approaches. Balk. J. Electr. Comput. Eng. 2020, 8, 121–126.

Fatima, S.K.; Abbas, M.; Mir, I.; Gul, F.; Mir, S.; Saeed, N.; Alotaibi, A.A.; Althobaiti, T.; Abualigah, L. Data Driven Model Estimation for Aerial Vehicles: A Perspective Analysis. Processes 2022, 10, 1236. https://doi.org/10.3390/ pr10071236.

Aguirre, L. (2007). Introdução à identificação de sistemas. UFMG, Belo Horizonte.

ISSN: 2447-6161

Martins, J.B., Bertone, A.M.A., Yamanaka, K. (2019): Novel Fuzzy System Identification: Comparative Study and Application for Data Forecasting. I IEEE Latin America Transactions . 17, 1793–1799.

ISSN: 2447-6161