



ARTIGO

EMBARCAÇÕES DE SUPERFÍCIE AUTÔNOMAS PARA MONITORAMENTO AMBIENTAL

POR

Esteban W. Gonzales Clua, André Paulo D. de Araújo, Daniel Henrique Nogueira, Ivanovich Lache Salcedo, Luiz Marcos G. Gonçalves, Eduardo Charles Vasconcellos
esteban@ic.uff.br, andrepaolodantas@gmail.com, dhndias@id.uff.br, ilache@id.uff.br,
lmarcos@dca.ufrn.br, charles.edu@gmail.com

Embarcações de superfície autônomas movidas a energia limpa são um importante papel para águas e o meio ambiente, permitindo que haja um mapeamento constante não apenas da qualidade da água, mas de possíveis focos e tipos de poluição. Além do monitoramento em tempo real, estes sistemas são capazes de realizar coletas frequentes para análises em laboratório. Sistemas de visão computacional baseados em câmeras colocadas em diferentes partes da embarcação permitem que sejam processados tipos de barcos nas imediações, lixos de maior escala e até mesmo atividades

suspeitas como atividades de pesca ilegal, entre outras. Finalmente, o uso de sensores e equipamentos de medições meteorológicas tornam estes veículos em uma estação meteorológica móvel. Os monitoramentos constantes são essenciais para auxiliar o cumprimento dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da Agenda 2030 da ONU, definidos como “Vida na Água” e “Água potável e Saneamento” (Desafio número 148), permitindo atingir as metas específicas para o aperfeiçoamento da gestão integrada dos recursos hídricos e a proteção dos ecossistemas marinhos e costeiros.

O FBoat é um veleiro que vem sendo desenvolvido por pesquisadores da Universidade Federal Fluminense (UFF) e Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN) com a finalidade de realizar monitoramento ambiental na Baía da Guanabara, Rio de Janeiro. Sua arquitetura está sendo modelada para servir de modelo aberto para outras embarcações, inclusive catamarãs solares movidos a motores elétricos.

FBoat – um veleiro autônomo

O FBoat consiste em um veleiro autônomo que tem capacidade de carregar diferentes sensores e equipamentos para monitorar a água e o meio ambiente ao seu redor. Por se tratar de um veleiro, espera-se que o mesmo seja capaz de navegar por tempo indeterminado, possibilitando inclusive realizar longas travessias. Dentre os diferentes equipamentos, o FBoat possui um processador principal (NVIDIA Xavier), que é responsável pelas técnicas de inteligência artificial, aprendizagem por reforço e visão computacional para a pilotagem automática.



 FIG. 01 | FBOAT

O veleiro inclui componentes de comunicação, computadores, sensores, atuadores do leme e da vela, motor de popa, câmeras e troca de energia entre outros componentes. Os principais subsistemas são o link de rádio (receptor e transmissor), para um eventual controle remoto manual, além de um enlace de dados utilizando as redes 4G/5G para controle e monitoramento do sistema de telemetria e envio de dados das aplicações de carga útil e da própria embarcação e o sistema de controle de hardware. Visando o controle e monitoramento em tempo real do barco, é utilizado um sistema multifuncional de planejamento de rotas, incluindo dentre elas o envio de sinais de controle para embarcação e recebimento de telemetria dos sensores instalados.

Para o FBoat navegar de forma autônoma, primeiramente, deve-se definir, em alto nível, o planejamento da trajetória global que o veleiro deverá percorrer através do Mission Planner. A seguir, uma estratégia de baixo nível ou de navegação em si é empregada in-loco, resolvendo o problema de mover o veleiro por meio da aplicação de uma equação que otimize os ângulos da vela e do leme ao mesmo tempo, considerando as posições atual do barco e de cada ponto de passagem, e variáveis do ambiente até percorrer todos os pontos definidos no planejamento. Variáveis como direção do vento, corrente da água, velocidade do barco e outras informações visuais como a existência de obstáculos na rota planejada devem ser consideradas neste nível. Inicialmente, assumindo que a

rota está livre, é possível que o objetivo pode não ser alcançável em linha reta para todas as direções de vento possíveis. Na verdade, para alguns direções (por exemplo, contra o vento), o veleiro não pode se mover em linha reta. Nessas situações, ele deverá fazer um tacking, ou zig-zag, para chegar ao seu objetivo. Se o veleiro consegue ir direto para o objetivo (situação assumida sem obstáculos), dado um certo par de ângulos para o leme e a vela, o problema se resume a aplicar as equações de controle em baixo nível. Mas, na segunda situação, se o veleiro não consegue avançar direto para o objetivo devido às condições do vento, deve-se realizar a manobra estratégica denominada de tacking. Ainda, existem outras possibilidades em que pode haver obstáculos dinâmicos ou estáticos ausentes no mapa usado para planejar a rota. Então, um sistema completo de navegação de curto alcance (de um ponto de passagem ao outro) deve utilizar variáveis como a posição-objetivo e posição-corrente do veleiro (esta última dada pelo GPS), a direção e velocidade do vento, e considerar também a presença de obstáculos (dadas pela visão), além da correnteza da água, entre outras citadas acima. Apesar de utilizar a energia do vento como principal fonte de propulsão, em alguns casos o veleiro necessita operar de forma independente sem a utilização do vento como, por exemplo, durante a saída ou entrada em enseadas pequenas ou até mesmo quando o vento não for suficiente para movimentá-lo. Dessa forma, a embarcação projetada também faz uso de um sistema de propulsão secundário composto por um motor elétrico de popa. Este fator,

juntamente com o restante das cargas elétricas e eletrônicas do veleiro, como sensores, atuadores, placas de controle, luzes de sinalização, etc., torna necessário o uso de um sistema elétrico robusto, além de um sistema de armazenamento e de geração de energia suficiente para suprir toda a demanda de energia elétrica.

Monitoramento Ambiental da Água

Para identificar os parâmetros a serem monitorados, existem normas que determinam as principais diretrizes. No cenário brasileiro, a CONAMA 357/05 recomenda, entre outras características, verificar os seguintes parâmetros: oxigênio dissolvido, temperatura da água, demanda bioquímica de oxigênio, turbidez, concentração de sulfato, fósforo, sólidos totais dissolvidos, condutividade elétrica, pH e coliformes totais. Já no cenário internacional, foi desenvolvido em 1970 pela National Sanitation Foundation o índice de qualidade das águas (WQI pela sua sigla em inglês) que auxilia na definição de um valor quantitativo a qualidade da água. Os parâmetros usados no WQI têm relevâncias diferentes no cálculo do índice. O oxigênio dissolvido é o elemento com maior impacto no cálculo do WQI devido ao fato de que baixas concentrações desse parâmetro serem um indício de alta decomposição orgânica, indicando águas potencialmente contaminadas. O seguinte item mensurado e que tem impacto no WQI é o pH. A sua variação pode indicar proliferação de algas, impactando negativamente a vida aquática e, conseqüentemente, tornando necessária a avaliação da neutralidade desse componente (medições próximas de 7,0) para os recursos que estão sendo mensurados. O

Fboat utiliza sensores para medir oxigênio dissolvido, pH, demanda bioquímica de oxigênio, temperatura, condutividade elétrica e turbidez; adicionalmente, no futuro, o veículo poderá incluir sensores para aferição de elementos químicos mais específicos como nitrogênio e fósforo, ou mesmo a identificação de coliformes totais

em tempo real. A plataforma robótica permite a análise de informações e cálculo de WQI em tempo real, permitindo o monitoramento de recursos hídricos com uma frequência maior quando comparada com as realizadas tradicionalmente pelos órgãos de controle.

Referências:

1. NEGREIROS, A. ; CORREA, WANDERSON ; PAULO, A. A. ; SANTOS, D. H. ; VILLAS BOAS, J. M. ; DIAS, D. H. N. ; Clua, Esteban ; Gonçalves, L. M. G. . Sustainable Solutions for Sea Monitoring With Robotic Sailboats: N-Boat and F-Boat Twins. *Frontiers In Robotics And AI*, v. 22, p. 1-12, 2022.
2. LACHE, IVANOVICH; CATALDI, M. ; GADELHA, C. ; OLIVEIRA, M. ; MEIRELLES, L. ; GUIMARAES, T. ; MONDINI, J. . Projeto e testes preliminares de protótipo para monitoramento de encosta em aterro sanitário. In: Simposion nacional de instrumentação agropecuária - Siagro 2019, 2019, São Carlos. Simposion nacional de instrumentação agropecuária - Siagro 2019. São Carlos, 2019.
3. SCHETINGER, ANNELYS MACHADO ; Dias, Daniel Henrique Nogueira ; BORBA, BRUNO SOARES MOREIRA CÉSAR ; PIMENTEL DA SILVA, GARDENIO DIOGO . Techno-Economic Feasibility Study on Electric Vehicle and Renewable Energy Integration: A Case Study. *Energy Storage*, v. n/a, p. e197, 2020.



ESTEBAN CLUA é Professor do Instituto de Computação da Universidade Federal Fluminense e atua nas áreas de Computação Gráfica, Jogos Digitais, Realidade Virtual e Visão Computacional. É pesquisador 1D do CNPq e Cientista do Estado pela FAPERJ. Possui mais de 60 artigos publicados em periódicos e mais de 200 em conferências.



ANDRÉ PAULO DANTAS DE ARAÚJO possui graduação em Engenharia de Computação - UFRN, mestrado em Ciências da Computação pela UFF e doutorando em Ciências da Computação pela UFF. Atualmente é Capitão-Tenente da Marinha do Brasil. Atua principalmente em Sistemas de Softwares, Sistemas embarcados e Aprendizado de Máquina



DANIEL HENRIQUE NOGUEIRA possui graduação em Física e graduação em Engenharia Elétrica UFRJ, mestrado em Física pela UFF e Doutorado em Engenharia Elétrica pela UFRJ. Atua principalmente em sistemas de energia elétrica, mobilidade elétrica e fontes alternativas de geração de energia. É bolsista DT nível 2 do CNPq e Jovem Cientista do Nosso Estado, pela FAPERJ.



IVANOVICH LACHE SALCEDO é Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Agrícola e Meio Ambiente da UFF. Atua principalmente nos seguintes temas: Sistemas Mecatrônicos para monitoramento ambiental e Agricultura de precisão.



LUIZ M. G. GONÇALVES é formado em Ciência da Computação pela UERJ e doutorado em Engenharia de Sistemas e Computação na COPPE-UFRJ. Atualmente é Professor Titular do Departamento de Engenharia de Computação e Automação da UFRN. Atua em visão robótica, visão computacional, processamento de imagem e Robótica na Educação.



EDUARDO CHARLES VASCONCELLOS possui graduação em Astronomia pela UFRJ, mestrado em Computação Aplicada pelo INPE e doutorado em Computação pela UFF. Atualmente é pós-doutorando no Instituto de Computação da UFF e pelo INRIA (França) em veículos autônomos e Deep Learning.