

BARCO-ROBÔ AUTÔNOMO PARA MONITORAMENTO AMBIENTAL DE RESERVATÓRIOS

JR, CARLOS ROBERTO DA S., LIMA, WAGNER DA SILVA, DE OLIVEIRA, MARCO A. A.

*Universidade Federal de Goiás – UFG
Escola de Engenharia Elétrica e de Computação – EEEEC
Núcleo de Estudo e Pesquisa em Energia – NEPE
Praça Universitária s/n.
CEP 74.605-220. Goiânia, GO, Brasil*

E-mails: engcarlosjr@yahoo.com, wslcia@uol.com.br, assfalk@eee.ufg.br

Palavras-chave: Barco-robô, robótica móvel, sensoriamento remoto, manejo de recursos hídricos.

Introdução

Reservatório de água é consequência natural do aproveitamento humano de recursos hídricos para abastecimento residencial, uso industrial e geração de energia elétrica. O monitoramento dos indicadores de qualidade de água é uma ferramenta essencial no controle do impacto ambiental, exigida por legislação específica e útil para diminuir os custos de operação e manutenção das barragens e turbinas.

O monitoramento atualmente é feito de várias formas: manualmente, remotamente via imagens de satélite e bóias. A forma manual é barata, porém dispendiosa em tempo, atingindo poucos pontos de amostragem. As imagens de satélite são caras, ainda mais por exigirem um mosaico de fotos, além de possuírem periodicidade longa. A bóia é uma solução intermediária, porém, assim como as amostragens manuais, são limitadas a alguns locais de amostragem. Há estudos recentes em monitoramento remoto utilizando embarcações autônomas (barcos-robô) de escala reduzida (um a dois metros de comprimento) para aplicações oceânicas. Esses barcos-robô, de custo próximo às bóias remotas permitem, por serem móveis, a coleta de dados de mais pontos do reservatório e o retorno do barco para eventual manutenção.

O desenvolvimento de barcos-robô inclusive é matéria muito atrativa para pesquisas robóticas. Esses barcos propõem interessantes e importantes questões de pesquisa em uma variedade de áreas como controle, navegação, visão e autonomia de longo período (ROSS, 1999; BAR, 2002; VAN, 1997; SAF, 1997; OTT & LAG, 2003; WEB *et al.* 2000).

O desenvolvimento de técnicas para robôs de navegação autônoma constitui uma das principais tendências na pesquisa de robótica, motivada pela corrente brecha entre a tecnologia atual e a demanda de novas aplicações (SAF, 1997).

Metodologia

Arquitetura do Barco-Robô

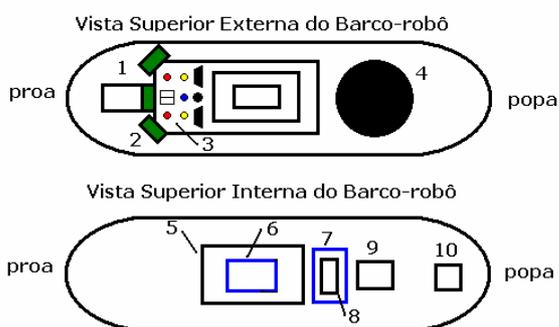
O sistema proposto leva em conta os requisitos para que o robô funcione atendendo aos objetivos do projeto, ou seja, um robô móvel autônomo para um ambiente aquático com a capacidade de orientação para realizar medidas meteorológicas e atmosféricas em pontos específicos no ambiente. Os dados coletados são repassados a uma base central que monitora o estado do robô para

resgatá-lo devido a alguma avaria ou falta de energia e para o envio de mensagens de comando. Existem outros requisitos como monitoramento da carga da bateria e controle dos custos energéticos das ações que não foram investigados no protótipo atual. Assim foram definidos os requisitos e escolhidos os equipamentos (sensores, atuadores, etc.) do robô, como apresentado na Tabela 1.

Tabela 1. Requisitos e equipamentos utilizados no projeto do Barco-Robô.

Requisito do Sistema	Equipamento utilizado
Uma estrutura física pequena (por exemplo, 1 m de comprimento e 35 cm de largura) e leve, como um barco de brinquedo comercial ou de acrílico manufaturado.	Barco de brinquedo 56 x 18 x 40 cm e peso cerca de 2 kg
Sensores GPS e bússola digital fornecem ao robô a capacidade de orientação e localização no ambiente.	GPS 16 da Garmin e Bússola 1490 da Dinsmore Instrument Company
Motores de propulsão e direção fornecem ao robô mobilidade e direcionamento para se deslocar no ambiente.	O motor de propulsão utilizado é o original do barco, 9,6 V, 1 A. O motor de direção é o servo-motor HS-322HD da Hitec com giro de 60°, torque 3kg.cm
Sensores de ultra-som que informam ao robô a presença de obstáculos à sua frente dando a capacidade de desviar dos mesmos.	Sensor SRF04 da Devantech com alcance de 3 cm a 3 m
Sensor de temperatura que representa o conjunto de instrumentos que poderiam ser utilizados para o monitoramento ambiental e meteorológico.	Sensor DS1822 da Dallas Semiconductor , -10 °C a +85 °C com acurácia de 2 °C
Canal de comunicação de rádio com a base central.	Módulos Radiometrix TX2-433-160-5V para transmissão e RX-433-160-5V para recepção, frequência de modulação de 433 MHz e operam em 160 kbps
Um sistema de controle microcontrolado, cujo objetivo é controlar as interfaces (sensores, atuadores, canal de comunicação), além de executar a navegação do robô.	O microcontrolador AT89S8252 da Atmel, da família de microcontroladores MCS 51. Foram utilizados dois microcontroladores e distribuído entre eles as interfaces

Na Figura 1, são apresentadas a vista superior externa e interna do barco-robô e uma foto com a vista lateral.



(a)

(b)

Figura 1. (a) Vista superior externa e interna do barco-robô com as seguintes partes: (1) bússola digital, (2) sensores de ultra-som, (3) painel do sistema, (4) GPS, (5) placa do sistema, (6) bateria do motor de propulsão, (7) bateria do sistema de controle, (8) lastro, (9) motor de propulsão e (10) motor de direcionamento. (b) Vista lateral do barco-robô em seu ambiente de testes.

Algoritmos do Sistema

O comportamento do barco-robô é composto das seguintes partes: recepção do ponto de aferição, deslocamento ao ponto, realização das aferições e desvio de obstáculos.

Recepção dos pontos de aferição

Ao ser ligado o barco-robô verifica se possui armazenado, em sua memória, os pontos de aferição. Caso negativo fica aguardando da base supervisora um pacote que contém o ponto, ou pontos, de aferição desejada e as aferições que serão realizadas. O barco-robô então inicia o processo de deslocamento e envia a cada um ou dois segundos, um pacote de status do sistema (telemetria) contendo as informações sobre os atuadores e sensores.

Deslocamento para o ponto de aferição

Uma vez que um ponto desejado é carregado com sucesso e a posição atual é conhecida, o robô calcula o erro de latitude e longitude com precisão de décimos de minutos. Então usando a função *arco tangente* a direção do ponto desejado é encontrada. O erro entre a direção atual, medido através da bússola, e desejada é calculado, e utilizado para ajustar o direcionamento do barco-robô em relação ao ponto desejado. O ajuste é executado através dos motores de propulsão e direcionamento. A aferição é realizada quando o barco-robô chega ao ponto desejado. Ele busca se manter nesta posição e realiza a aferição da temperatura da água. Outras aferições poderiam ser realizadas com a inserção de novos sensores no barco-robô como pH, salinidade, evapotranspiração, etc.

Desvio de obstáculos

A rotina de desvio de obstáculos tem como entrada os três sensores de ultrassom e, como saídas, a devida atuação sobre os motores de propulsão e direcionamento, desviando desvio quando avista algum obstáculo a uma distância de, no máximo, 1m. Devido à disposição dos sensores geram-se pontos cegos e obstáculos nesses pontos podem não ser detectados ocasionando colisões.

Software usuário de navegação

O barco-robô apresenta-se também como um instrumento de pesquisa para outros alunos de mestrado ou graduação. Para isso o *firmware* permite a inserção de uma rotina alternativa de navegação para testes de novos modelos de navegação que será monitorada pelo *firmware* principal.

Software de Supervisão do Sistema

Este software é uma ferramenta desenvolvida em Visual Basic com o objetivo de processar os pacotes recebidos pela base para o computador e exibi-los de forma que seja possível detectar erros e acompanhar o funcionamento do equipamento. Possui dois modos de operação: on-line, que usa como dados os pacotes recebidos em tempo real pelo canal de comunicação de rádio; e off-line que utiliza como dados um arquivo contendo os pacotes descarregados da memória RAM.

Resultados e Discussão

Teste dos módulos do sistema

Inicialmente realizaram-se os testes dos módulos do barco-robô: potência de propulsão, direcionamento, precisão das coordenadas GPS e da bússola. Os testes

foram realizados em uma piscina de 20 x 10 m. Alguns resultados estão disponíveis na Internet (UFG, 2006).

O motor de propulsão tem velocidade máxima de 1 m/s, mas utilizou-se potência máxima de atuação de 75 % como meio de economia de energia. O motor de direcionamento realiza desvios de $+8^\circ$ a -8° .

Realizaram-se testes com os módulos em modo simplex, onde o barco-robô envia os dados e a base central recebe os pacotes de dados. Os módulos foram utilizados no ambiente de testes a uma taxa de 1200 bps e distância 30 m, com uma taxa de erro de 20 %. Taxas de transmissão mais altas causavam um aumento proporcional na taxa de erro.

A bússola mesmo com um erro considerável de 12° mostrou-se satisfatória para a aplicação. O erro de acurácia do GPS dificultou a realização dos testes, pois como o ambiente de testes era pequeno (20 x 10 m), o ponto desejado programado no dia anterior não poderia ser utilizado nos testes do dia seguinte, pois poderia estar localizado fora da piscina. Para isso os pontos limite da piscina (latitude e longitude) de testes eram redefinidos em cada experimento.

Teste do algoritmo de navegação

Foram realizados testes do barco-robô sem o procedimento de desvio de obstáculos, onde, a partir de um ponto inicial, ele deslocasse para o ponto desejado e realizasse a medida da temperatura (Figura 2). Cada ponto no gráfico corresponde a uma posição amostrada a cada 2 segundos. Observa-se que alguns pontos estão fora dos limites da piscina devido ao erro de acurácia do sensor GPS.

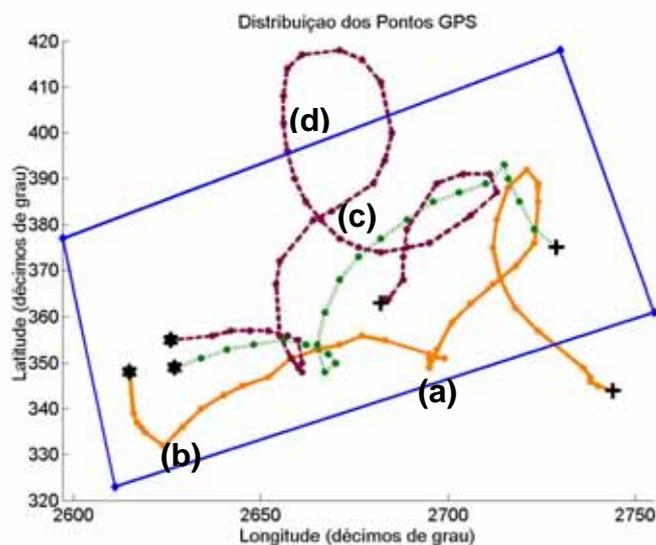


Figura 2. Amostra de deslocamento aos pontos desejados.

O ponto inicial do deslocamento é simbolizado por uma cruz, o ponto final do deslocamento é simbolizado por uma estrela. A figura apresenta três manobras de deslocamento do barco-robô de diferentes pontos iniciais. Na amostra laranja, entre os pontos (a) e (b) é verificada a influência da força do vento no movimento causando o desvio da rota. Nos pontos (c), (d) o barco-robô fez voltas desnecessárias para realização do direcionamento ao ponto desejado devido à diferença entre as taxas de amostragem da bússola e GPS causar decisões atrasadas em relação à posição e direção atual.

Observa-se que em alguns pontos do deslocamento o barco-robô toca as bordas da piscina e não consegue realizar a curva completa. Nestes pontos o barco foi empurrado manualmente simulando a curva, ou seja, colocou-se o barco na direção esperada ao finalizar a curva.

Conclusões

O sistema de controle mostrou-se viável para a aplicação, com um hardware relativamente de baixo custo e precisão exigida para a aplicação. Testes mostraram que outra estrutura física deve ser concebida para aplicações em lagos ou realizar melhorias de estabilidade da estrutura física utilizada.

O ambiente de testes, uma piscina com largura de 10 m e comprimento de 20 m, mostrou-se pequeno em relação ao erro GPS para algumas manobras do barco-robô, mas foi adequado para realização dos testes.

Em relação à tomada de decisão pelo algoritmo de navegação o período de amostragem do GPS e da bússola mostrou-se longo demais para a realização de ajustes de erro de orientação do barco-robô. Sugerem-se melhorias na rotina de navegação para que minimizem o erro da tomada de decisão em relação às diferentes taxas de amostragem dos sensores GPS e bússola.

Trabalhos futuros visam utilizar o barco-robô como objeto de estudos e aplicação de algoritmos diversos para navegação autônoma, controle de gastos energéticos, desvio de obstáculos. Planeja-se construir múltiplos barcos-robô para formação de uma rede de barcos-robô integrados para realização de medições dentro do lago.

Referências Bibliográficas

- Clarke, R. T. E Dias, P. L. D., *As necessidades de observação e monitoramento dos ambientes brasileiros quanto aos recursos hídricos*, Centro de Gestão e Estudos Estratégicos – Ciência Tecnologia e Inovação, 2002.
- Ross, B., *A Robot Boat for Offshore Science*, FSR'99 Proceedings of the International Conference on Field and Service Robotics - "Robotic Applications for the Next Millenium", 1999.
- Barros, E. A., *A Test Bed Applied Mobile Robot Navigation*, Journal of the Society of Mechanical Sciences, Rio de Janeiro, 2002.
- Vaneck, T. W., *Fuzzy Guidance Controller for an Autonomous Boat*, Control Systems Magazine, IEEE, 1997.
- Saffiotti, A., *The uses of fuzzy logic in autonomous robot navigation*, Springer-Verlag, 1997.
- Otoni, G. L., Lages, W. F., *Navegação de Robôs Móveis em Ambientes Desconhecidos Utilizando Sonares de Ultra-Som*, Revista Controle&Automação, Volume 14 nº 4, 2003.
- Webb, P., Fayad, C. E Breitenbach, C., *The Integration of an Optimized Fuzzy Logic Navigation Algorithm into a Semi Autonomous robot Control System*, The International Workshop on Recent Advances in Mobile Robots, Leicester, UK, 2000.
- UFG Website dos resultados dos testes do sistema:
<http://www.eee.ufg.br/~assfalk/orientacao/Barco%20Clube%20CSRJr>, 2006.

Agradecimentos

Os autores agradecem: (1) ao CNPq por (a) bolsa concedida ao primeiro autor, processo No. 132668/2004-1, (b) bolsa concedida ao último autor, processo No. 200267/97-3, (2) ISRG-NMTEch pela cessão do transceptor, bússola e GPS, (3) a ESEFEGO e ao Clube R. B. Cruzeiro do Sul pelo uso das piscinas, (4) à Fundação de Apoio a Pesquisa da UFG (FUNAPE) pelo apoio logístico.