



UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM MECATRÔNICA

ENG633 - SISTEMAS MECATRÔNICOS

**Relatório I
Projeto Conceitual**

Professor:
Leizer Schnitman

Grupo:
Jailson dos Santos Junior
Maxwell Francisco da Silva
Rafael Santana Queiroz
Rosinery Rosária de Medeiros
Yuri de Matos Alves de Oliveira

Salvador

19 de Agosto de 2021

Conteúdo

1	Introdução	2
2	Análise de Requisitos	4
2.1	Matriz QFD	4
2.2	Matriz Morfológica	4
3	Projeto Conceitual	5
3.1	Design	5
3.2	Sensores Embarcados	5
3.3	Funcionalidades	5
3.3.1	Localização	5
3.4	Mapeamento	6
3.5	Controle	6
4	Validação de projeto	7
4.1	Módulos de simulação	7
4.1.1	Sensores, atuadores e física	7
4.1.2	Comunicação e sensor de distância acústicos	8
4.2	Missões	8
4.2.1	Submersão e emersão controlada	8
4.2.2	Teste de velocidade e trajetória circular	9
4.2.3	Mapeamento de rampa	10
4.2.4	Resgate da Moeda	11
5	Conclusão	14
	Referências	15

1 Introdução

A comunicação subaquática sem fio tem sido um tema de vasta pesquisa nos últimos anos por conta do interesse de exploração do ambiente marinho. Enquanto no ar a maioria dos sistemas de comunicação utiliza ondas de rádio ou espectro de espalhamento e posicionamento global [2], na água os sensores acústicos são os mais utilizados. Contudo, outras tecnologias de comunicação sem fio também são aplicáveis nesse ambiente, como ondas de radiofrequência (RF) e ondas óticas [3].

Os sensores acústicos possuem a vantagem de permitir uma comunicação de longo alcance, da ordem de 20 km. Em contrapartida, possuem baixa taxa de transmissão (da ordem de kbps), alta latência (da ordem de segundos), são relativamente pesados e caros, além de serem perigosos para certas espécies marinhas [3].

A comunicação subaquática por ondas RF permite uma transição suave entre a interface água/ar, sendo útil para integração com sistemas RF terrestres. Além disso, é menos suscetível às interferências decorrentes de turbulência e turbidez marinha, se comparada com a comunicação acústica e ótica. A principal limitação da aplicação de RF na água é o baixo alcance e o alto custo decorrente da necessidade da instalação de antenas [3].

A comunicação ótica sem fio subaquática (UOWC, do inglês *Underwater Optical Wireless Communication*) possui, dentre os métodos supracitados, a maior taxa de transmissão, a menor latência e o menor custo de implementação. Por outro lado, o sinal ótico é alterado por conta de absorção e dispersão, demanda alinhamento preciso dos transceptores e possui alcance moderado (da ordem de dezenas de metros) [3].

Diante desse cenário, a proposta desse trabalho é implementar, em ambiente de simulação, algoritmos de comunicação embarcados em um veículo submarino remotamente operado (ROV, do inglês Remotely Operated Underwater Vehicle), que deverá ser projetado para realizar uma operação de resgate. Para cumprir esse objetivo, o trabalho será dividido em três relatórios:

1. Relatório I - Projeto Conceitual
2. Relatório II - Projeto Detalhado
3. Relatório III - Resultados de Simulação

No Relatório I, que é este documento, será apresentada inicialmente uma análise de requisitos do sistema, matriz QFD (do inglês *Quality Function Deployment*) para obtenção dos requisitos de projeto e matriz morfológica para seleção preliminar dos tipos de componentes do protótipo a ser simulado. Posteriormente será apresentado o projeto conceitual, que conterá: o *design* proposto para o protótipo, os sensores embarcados e as principais funcionalidades que ele irá possuir. Por fim, será discutida uma estratégia para simulação do protótipo.

No Relatório II será apresentado o projeto detalhado, com especificação dos componentes e sistema, juntamente com um cronograma para execução das tarefas.

No Relatório III serão mostrados os resultados da simulação do protótipo atuando na missão de resgate.

2 Análise de Requisitos

2.1 Matriz QFD

2.2 Matriz Morfológica

3 Projeto Conceitual

3.1 Design

3.2 Sensores Embarcados

3.3 Funcionalidades

Dentre os dez requisitos do projeto, alguns exigem soluções envolvendo diversos sensores e técnicas específicas para seu cumprimento. Esta seção visa esclarecer a estratégia a ser adotada para algumas das funcionalidades necessárias do veículo.

3.3.1 Localização

Um dos requisitos do projeto é a capacidade do veículo de se localizar no ambiente. Esse requisito tem impacto em diversos outros, pois não havendo sua localização, não se pode criar um mapa ou gerar uma trajetória a ser seguida. A localização do veículo consiste em saber a pose, os seis DOF (*Degrees of Freedom*), do veículo em relação ao ambiente no qual está inserido. Dessa forma, deve-se ter inseridos no ambiente objetos conhecidos em poses conhecidas, os quais o veículo possa utilizar as detecções desses objetos para aferir sua pose no ambiente. Serão utilizados um sistema SBL (*Short BaseLine*) e arucos como esses objetos conhecidos.

O sistema SBL é um conjunto de quatro *beacons* acústicos que devem ficar emitindo um sinal acústico para o veículo, que através da trilateração, é capaz de estimar a posição em XY desse sistema. Esse sistema em conjunto com o sensor de pressão e a inferência da posição em Z provê a todo momento a posição em XYZ do veículo. Dessa forma, somente falta a rotação em XYZ, que pode ser aferida a partir do giroscópio presente na IMU.

Mesmo já sendo possível obter a pose 6DOF do veículo com essas três soluções, a detecção de Arucos, *dead-reckoning* e dados do acelerômetros também serão usados visando obtenção de uma localização mais precisa. A detecção por visão computacional de um aruco fixado ao ambiente possibilita a estimação da pose 6DOF do veículo, porém esse dado só está disponível enquanto o veículo aponta sua câmera para o aruco. O *dead-reckoning* consiste em utilizar o modelo cinemático de deslo-

camento do veículo com a velocidade de cada propulsor para saber o deslocamento 6DOF que deve acontecer em um certo período, contudo, essa técnica pode agregar erros de modelagem, assim como de estimativa do empuxo em cada propulsor. Por fim, o dado do acelerômetro integrado duas vezes provê dado de deslocamento de posição, mas como o erro do sensor também é integrado duas vezes, a técnica não é tão precisa. Dessa maneira, pelos problemas apresentados nesse parágrafo sobre a estimativa de pose com acelerômetro, arucos e *dead-reckoning*, essas serão usadas somente a partir da fusão por filtro de Kalman com as informações obtidas pelo SBL, sensor de pressão e giroscópio. O filtro de Kalman leva em consideração a precisão de cada dado durante sua fusão, então dados mais precisos tem mais peso do que dados imprecisos.

Uma possibilidade são os próprios marcos artificiais, porém precisam estar em uma pose conhecida previamente, então com a estimativa de sua pose em relação ao veículo submarino, se calcula a pose do veículo no mundo. Outra possibilidade é a triangulação de sinal, com três emissores de pulsos acústicos ou ópticos com posições previamente conhecidas, consegue-se estimar a pose do veículo. Por fim, o *dead-reckoning* também pode ser usado através de sensores inerciais e de estimadores de modelo cinemático e dinâmico do veículo. Esses componentes geram uma informação de deslocamento em relação a uma pose inicial, que é chamada de *dead-reckoning*, ou odometria no caso de veículos terrestres.

3.4 Mapeamento

3.5 Controle

4 Validação de projeto

Ao longo do texto, definiu-se os requisitos e como os atingi-los, porém ainda é preciso estabelecer como ocorrerá a prova do cumprimento do que foi acordado. Para isso, nessa seção serão propostos alguns testes que são capazes de validar o cumprimento dos requisitos. Essa etapa de validação poderia ser executada somente após o desenvolvimento do protótipo, contudo, quaisquer modificações de projeto com o protótipo já finalizado acrescentaria em um grande custo de financeiro e em atraso de projeto. Dessa forma, optou-se pela validação do protótipo via simulação, o que permite testar o veículo em ambiente subaquático simulado, sem risco de dano ao veículo e evitando grandes retrabalhos por modificações no projeto. Nessa seção, será discutido como a simulação deve ser realizada para validação dos requisitos de projeto, assim como a configuração do ambiente virtual submarino.

4.1 Módulos de simulação

A simulação fidedigna de um veículo submarino deve contar com a simulação dos atuadores, sensores e da física de um corpo rígido debaixo d'água. Com o objetivo de obter uma simulação que incluísse todos esses tópicos, algumas soluções de *software* disponíveis serão adotas e algumas desenvolvidas, a especificação de cada uma e justificativa de escolha é o objetivo desta seção.

4.1.1 Sensores, atuadores e física

As funções de simular o comportamento de um robô no meio com seus sensores e atuadores é a tarefa de um simulador de robótica, dessa forma, é necessário se definir qual deve ser utilizado para a validação deste projeto. A tabela da Figura 4.1.1 mostra as alternativas de simuladores que possuem funcionalidades essenciais para validação de um robô submarino. Dentre as cinco alternativas apresentadas na tabela, 3 delas utilizam o simulador Gazebo [1], que são UWSim (*Underwater Simulator*), UUV (*Unmanned Underwater Vehicle Simulator*) e USVSim (*Unmanned Surface Vehicle Simulator*). Dentre esses, o USVSim seria o mais completo, pois disporia de quase todas as funcionalidades apresentadas na Figura 4.1.1.

Contudo, o USVSim é desenvolvido a partir do Gazebo, então seria necessário a

Figura 1: Tabela comparativa de simulatores e suas funcionalidades

Simulator	Hydrodynamics	Hydrostatics	Thruster	Fins	Pressure Sensor	GPS	DVL	Realistic Rendering	Contact Dynamics	Wind	Waves	Water Currents
UWSim	✓	✗	✓	✗	✓	✓	✓	✓, osgOcean	✓	✗	✓	✗
UUV	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✗	✗	✗
Stonefish	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓, custom	✓	✓	✓	✓
URSim	✓	✓	✓	✗	✓	✗	✗	✓, Unity	✗	✗	✓	✗
USVSim	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓

instalação de duas ferramentas, sendo que a Open Robotics, empresa desenvolvedora do Gazebo, lançou o novo simulador que substituirá o Gazebo, o Ignition. Ademais, o Ignition já apresenta as funcionalidades de robótica submarina incorporadas, dessa forma, optou-se por utilizar somente o *software* Ignition. Nele é possível se carregar um ambiente submarino 3D assim como o veículo, sendo possível não somente a visualização, mas também obter dados simulados de sensores, controlar motores e simular a interação do robô com o ambiente ao seu redor.

4.1.2 Comunicação e sensor de distância acústicos

Apesar do Ignition possibilitar a simulação dos motores e sensores do veículo, a simulação da comunicação e sensor de distância acústicos é uma funcionalidade que não consta no *software*. Portanto, serão desenvolvidos *plugins* para o *software* que simulam as peculiaridades desse tipo sensores. Os *plugins* devem simular atraso da onda sonora na água, ruído e atenuação.

4.2 Missões

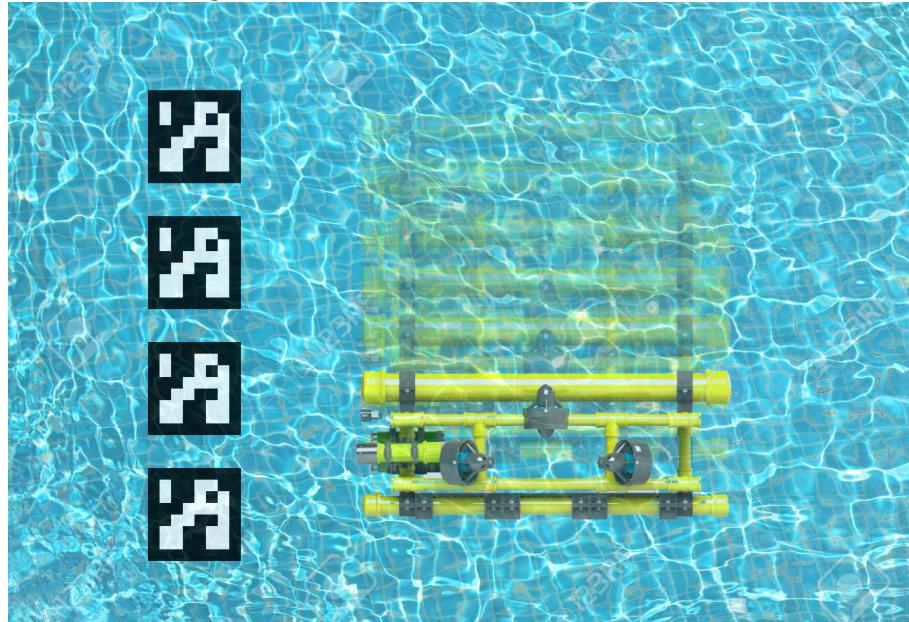
As missões são tarefas definidas para validação das funcionalidades do veículo, de forma que ao cumprir cada missão, o projeto fica validado a nível de simulação para o cumprimento dos requisitos de projeto.

4.2.1 Submersão e emersão controlada

Essa missão consiste em submergir e emergir o ROV a uma determinada profundidade, como pode ser visto na Figura 4.2.1. Esse procedimento será executado tanto com controle manual de velocidade, como também com controle automático, no qual o ROV se desloca ao longo de um caminho previamente estabelecido. Além disso, arucos seriam posicionados ao longo de todo o trajeto, para obter uma medição

mais precisa de profundidade.

Figura 2: Missão de submersão e emersão



Dessa forma, os requisitos 2, 6 e 7 seriam validados, visto que para a execução dessa tarefa, o ROV deve ser capaz de ir para uma posição previamente conhecida, localizar os arucos e submergir e emergir de forma controlada.

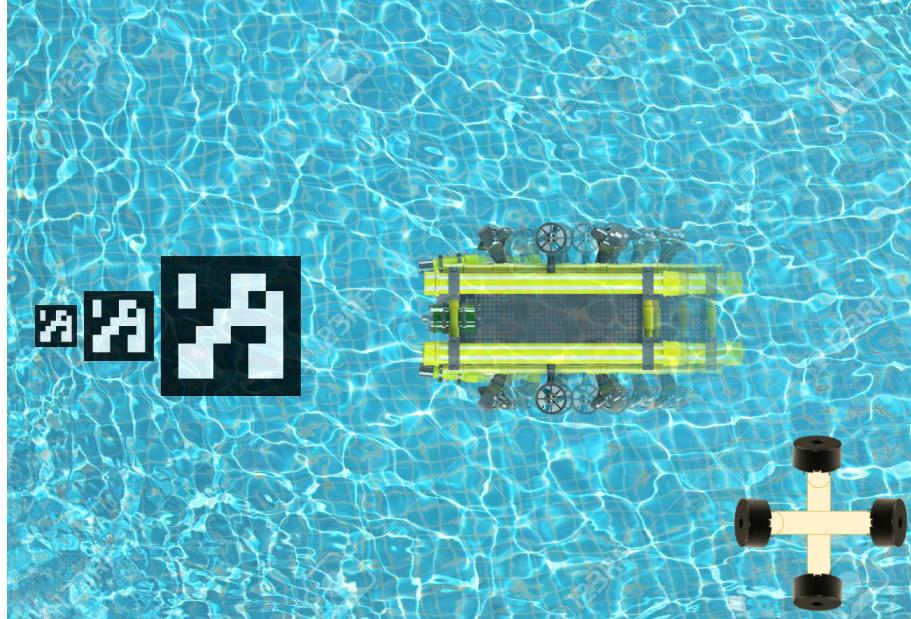
4.2.2 Teste de velocidade e trajetória circular

O requisito 3 determina a velocidade máxima que o veículo deve atingir, então é necessário que haja algum teste em que os motores do veículo fiquem no seu máximo para verificar se a velocidade determinada consegue ser atingida. O ROV foi projetado para ter mais velocidade em *surge*, de forma a se deslocar mais rápido ao se mover para frente. Dessa forma, o teste de velocidade consiste em colocar a referência de velocidade no seu valor máximo e medir a velocidade de deslocamento do ROV nesse trecho, porém essa medição é pouco precisa com a configuração de sensores atuais.

Portanto, para medir a velocidade, serão posicionados arucos de diferentes tamanhos e o sistema de SBL. A configuração do ambiente de teste pode ser observada na Figura 4.2.2. Os arucos tem tamanho variado pois quanto maior o aruco, mais

longe deve-se estar para medir sua pose com precisão, então arucos de diferentes tamanhos servirão para ter uma boa medição em um intervalo maior de distância do veículo para o aruco.

Figura 3: Missão de velocidade máxima e seguimento de trajetória



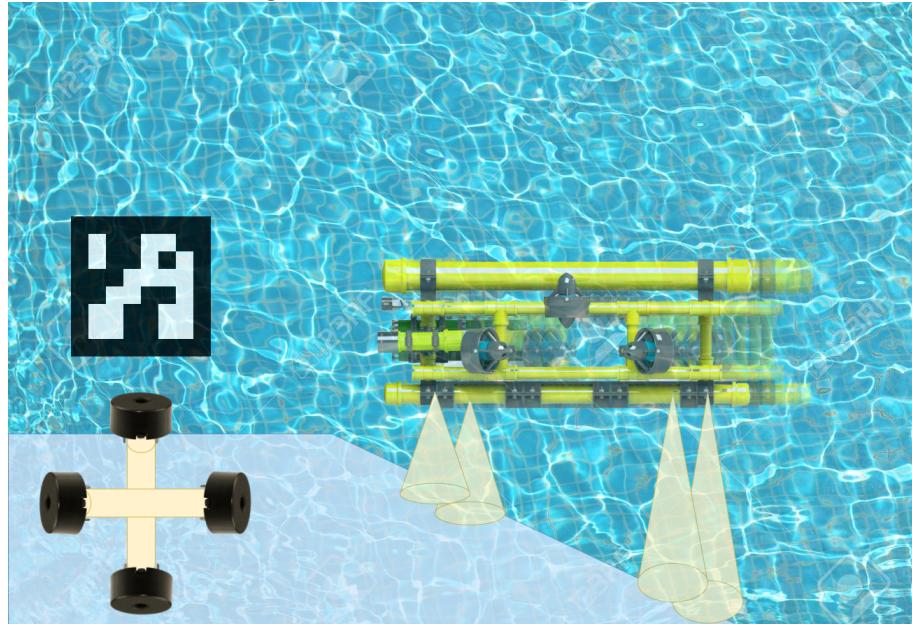
Outra missão que será executada nessa mesma configuração é a execução de uma trajetória circular, para validação dos requisitos 4, 6 e 7. Ao se executar a trajetória circular, mantendo a profundidade e mantendo os arucos no campo de visão da câmera, pode-se usar o armazenamento da trajetória para validar se o requisito de seguir uma trajetória realmente foi cumprido.

4.2.3 Mapeamento de rampa

A validação do requisito 5, que se refere ao mapeamento do leito marinho, pode ser validado ao se utilizar um terreno conhecido. Então, propõe-se aqui a execução do simples mapeamento de uma rampa, caso a inclinação da rampa seja semelhante ao do mapeamento, pode-se afirmar que o sistema funciona. O mapeamento não será muito detalhado, visto que irá se adquirir somente informação de 4 pontos, medidos com sensores de distância ultrassom abaixo do ROV. Portanto um cenário simples como uma rampa é adequado para validação. Além disso, também se necessita do

aruco para posicionamento do ROV, como na Figura 4.2.3.

Figura 4: Missão de mapeamento



4.2.4 Resgate da Moeda

As missões apresentadas até agora cobriram a validação de todos os requisitos de sistemas que não envolvem resistência e confiabilidade, a validação que está faltando quanto a funcionalidade é a 8. Esse requisito determina que o ROV deve ser capaz de atender um pedido de socorro. Para a validação desse requisito, o BROV deve localizar a caixa de resgate, representada pelo aruco mais à esquerda da Figura ???. Além disso, deve esperar o led presente na caixa ascender, a partir daí, o ROV deve se aproximar e capturar a moeda com seu imã e retornar a superfície. Esse teste não só valida o requisito 8, mas como todos os citados anteriormente, a ideia é testar o sistema atendendo todos os requisitos funcionais do ROV ao mesmo tempo. Para esse teste, tanto a localização por aruco como a por SBL .

“

„„

5 Conclusão

No texto foram apresentados os requisitos do sistema, a criação de um projeto conceitual para cumprimento dos requisitos e o processo de validação para comprovar que o veículo é capaz de atender aos requisitos. As soluções definidas devem ser mais detalhadas em futuros relatórios e também estão sujeitas a mudança devido possíveis melhorias ou problemas encontrados.

Referências

- [1] Nathan Koenig and Andrew Howard. Design and use paradigms for gazebo, an open-source multi-robot simulator. In *2004 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*(IEEE Cat. No. 04CH37566), volume 3, pages 2149–2154. IEEE.
- [2] Liam Paull, Sajad Saeedi, Mae Seto, and Howard Li. AUV navigation and localization: A review. *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, 39(1):131–149, 2014.
- [3] Obaid Ur-Rehman and Natasa Zivic. Wireless communications. *Signals and Communication Technology*, 19(1):7–21, 2018.