



Henrique Abrantes – Equipa ROV

Escola Náutica Infante Dom Henrique –
Robótica de Inteligência Artificial

Março de 2025

Esta recensão crítica visa validar os conhecimentos adquiridos no artigo *“Survey on advances on terrain based navigation for autonomous underwater vehicles”* de José Melo a Aníbal Matos bem como incluir uma reflexão acerca de como os temas abordados são importantes para a cadeira de Robótica Marítima, bem como a sua possível influência no desenvolvimento de projetos utilizando o BlueROV2.

O artigo *“Survey on advances on terrain based navigation for autonomous underwater vehicles”* de José Melo a Aníbal Matos aborda a definição de autonomia em AUVs, Navegação Baseada em Terreno (TBN), algoritmos de TBN e sensores utilizados na navegação subaquática, métodos de navegação subaquática, inferência bayesiana e espaço de estados.

Oferecendo uma visão abrangente e profunda sobre os assuntos referidos mostrando a importância e a robustez da utilização da navegação baseada em terreno (TBN) em vez de técnicas tradicionais, que não são viáveis em ambientes subaquáticos. Adicionalmente a discussão sobre SLAM é pertinente, considerando o aumento do interesse em operações autônomas em locais de difícil acesso.

O primeiro tema abordado é navegação subaquática, referindo primeiro a navegação através de inércia, seguido da navegação acústica e, por fim, navegação geofísica.

Navegação através de inércia utiliza IMUs para medir dados de vários sensores, sendo os seus pontos fortes ter níveis altos atualização de dados com boa precisão num curto período de tempo. Permite, se usado um trio de cada sensor, (acelerómetro, giroscópio e magnetómetro) obter uma medição tridimensional que permite medir o campo magnético da terra através de um trio de magnetómetros para obter uma estimativa de rumo, em alternativa também se pode usar giroscópios se eles tiverem qualidade suficiente. Sendo um tipo de navegação autónoma no sentido de não precisar de nenhum sinal externo para a utilizar, mantendo-se livre de qualquer interferência externa. Tem como ponto negativo a deriva da posição, tendo como máximo 1.8km/dia de deriva. Isso faz com que seja ótimo utilizar um sistema destes como apoio a um principal, não podendo colocar confiança máxima neste sistema durante um período muito extenso de tempo. Este tipo de sistema é utilizado no ROV como por exemplo, para manter a profundidade, utilizando os IMUs para saber a posição instantânea e que tipos de força estão a ser impostos no ROV. Ao saber esses dados podemos utilizar as hélices para contrariar essas forças mantendo o ROV na sua posição desejada.

O tópico da navegação acústica já tinha sido abordado em aula com um desafio proposto pelo professor Pedro Teodoro. A solução do desafio foi resolvida em equipa e apresentada ao professor. A solução de cujo desafio foi possível com a ajuda do artigo. O artigo foi essencial para perceber como funciona a navegação acústica, que e os seus desafios como ter de saber o tempo de navegação do sinal sonoro na água para ter uma boa estimativa da localização do AUV ou ROV. O artigo também tocou com o seu devido cuidado os diferentes tipos de baselines como SBL, USBL e LBL. A conclusão que retiro desde tópico, sendo que a utilização de navegação acústica é um objetivo com o ROV, é que o mais



viável de usar nas condições que temos é o Ultra-Short-Baseline System (USBL), sendo que os transdutores são colocados próximos uns dos outros. Também poderá ser possível utilizar o USBL com uma técnica de LBL abordada neste tópico. A técnica é ter a rede toda debaixo de água, não tendo nenhum membro da rede acústica à superfície, este método de aplicar a navegação acústica será interessante porque não sei que tipo de sistema é que iremos utilizar para estar submerso, sendo que a ideia é ter o ROV a comunicar com os beacons autonomamente e receber a posição do ROV através do cabo umbilical.

Seguido então da Navegação Baseada em Terreno (TBN). (Este artigo refere apenas TBN sensorial, ignorando TBN de imagem.) Navegação Baseada em Terreno (TBN) adquire imagens batimétricas utilizando os sensores disponíveis e compara com um mapa previamente colocado ou um dataset do terreno. É autónomo, robusto contra interferências externas, versátil em todos os climas e possui uma grande variedade de algoritmos. O artigo explora os seguintes algoritmos, TERCOM (Terrain Contour-Matching) e SITAN (Sandia Inertial Terrain Aided Navigation).

TERCOM, que foi o primeiro método de navegação através de TBN, utiliza o filtro de navegação Kalman, que é um algoritmo que executa uma fusão de dados de IMUs, GPS, velocidade, compasso, entre outros sensores no equipamento para conseguir calcular a posição, velocidade e AOA (ângulo de ataque), demonstra ser um algoritmo muito capaz apesar de ter sido o primeiro. Além de usar o filtro Kalman com sensores também combina os dados com um mapa barimétrico. É um algoritmo autónomo, protegido contra interferências externas. No entanto, dependendo dos casos, é preciso colocar um grande dataset de mapas barimétricos para

garantir o funcionamento correto. Além disso, ao aplicar o algoritmo em um local com pouca variação de relevo como por exemplo o fundo da piscina da faculdade, questiono-me qual o comportamento da fusão dos dados do mapa batimétrico, pois não haverá variação de relevo para analisar. Porém teremos os dados do filtro de Kalman que podem ajudar a guiar autonomamente o submarino sem a utilização do mapa barimétrico utilizando apenas o INS (Inertial Navigation System).

SITAN, que foi o primeiro algoritmo de TBN a utilizar um método sequencial, demonstrou ser uma grande melhoria para o algoritmo TERCOM, pois no SITAN cada medição é processada independentemente e utilizada como input para a navegação, contrário do TERCOM que utiliza apenas o melhor match obtido durante um período de medições (método em lote), que depois é utilizado para atualizar o dataset. Este método acaba por ser melhor pois cada medição é utilizada para atualizar o dataset (método sequencial), por causa disso questiono se houver uma falha coletiva do INS ou até mesmo dos sensores responsáveis por obter a imagem para o TBN como é que esse erro é tratado, e se é tratado. Contradizendo-me, é uma vantagem em ter todos os dados a serem enviados diretamente para o *Correlator* em vez de serem analisados também e decidido o melhor do batch. As duas limitações deste algoritmo são, deriva do INS, dificuldade em locais de pouco relevo, peso dos mapas no sistema.

O próximo tópico, medição de relevo na Navegação Baseada em Terreno (TBN), aborda os sensores utilizados para realizar TBN, bem como alguns desafios presentes na utilização de certos sensores. Algumas dessas limitações são referidas são a pressão hidrostática que é afetada pela temperatura, pressão atmosférica e salinidade da água, ondas que causam mudanças na pressão que



afeta a estimativa de profundidade, mas, por sua vez, também é referido alguns artigos que contêm estudos acerca de modelos apropriados para filtrar esse ruído. Os sensores abordados nesse tópico são o altímetro, DVL, Multibeam e Sidescan sonars sendo que o altímetro e Multibeam sonar são sensores presentes no BlueROV2. Este tema demonstrou ser uma ótima introdução aos problemas dos sensores abordados bem como a sua função.

A TBN subaquática neste artigo, que é o tema que estava mais interessado, foi aprofundada de uma maneira muito intuitiva, analisando as suas limitações como a existência de diferentes camadas na água, e, mais importante, referiu artigos com experimentos implementados com dados reais. Referiu também um problema da TBN subaquática cujo achei relevante para o trabalho que irei realizar no submarino, que foi, o problema de comparar dados com muita resolução de sensores com grandes mapas com baixa resolução. Esta referência fez-me chegar à conclusão que a melhor opção que tenho para realizar a TBN submarina com o ROV é colocar o ROV a fazer os seus próprios mapas batimétricos e só depois colocá-lo a realizar um caminho autonomamente por esses mapas. Voltou de seguida a referir os métodos de TBN sequencias e de lote, referindo também métodos alternativos como Search Area methods (TERCOM) ou Gradient-Based methods (SITAN). Comparando depois os algoritmos referidos anteriormente como o TERCOM e SITAN, fornecendo mais perspectivas de como os algoritmos funcionam. Seguido de explicar como TBN com INS funciona em conjunto (loosely coupled e tightly coupled). Estas perspectivas ajudam a

perceber qual o melhor método para utilizar no ROV, a conclusão de que cheguei com base no artigo foi: Usar TBN com INS loosely coupled, para perceber a razão desta escolha é preciso primeiro entender as tecnologias e as suas diferenças. Na abordagem tightly coupled os dados dos sensores são integrados diretamente como filtro do INS, enquanto no loosely coupled os dados são processados em paralelo até haver uma convergência, quando isso ocorrer irá ser realizada uma estimativa através do TBN e só aí integrada com o INS.

Acerca de espaços de estados, abordado no tópico 6. Focou-se em demonstrar soluções para resolver alguns problemas referidos ao longo do artigo.

Conclusões. O artigo foi, e continua a ser (pois ainda me falta abordar com o seu devido cuidado o tópico 6. 7. e 2.3) uma ótima introdução aos métodos de navegação autónoma em ambientes marítimos, como a navegação por inercia, navegação acústica, navegação baseada em terreno, as limitações, os seus algoritmos, as limitações desses métodos e algoritmos, os sensores envolvidos nos diferentes tipos de navegação autónoma e refinamentos no algoritmo para filtrar ruídos não pretendidos. Ao ler este artigo cheguei à conclusão que o algoritmo TBN que irei utilizar no ROV será SITAN com algoritmo TERCOM ([artigo](#)). Os sensores que irão ser utilizados são os que estão disponíveis no ROV, temos para INS os IMUs e para saber a distância ao solo, ping sonar altímetro & echosounder. O meu objetivo agora é realizar TBN com o ROV, que vai ser um desafio pois o ambiente de teste que tenho é uma piscina cujo relevo não varia.



Equipa ROV:

- Henrique Abrantes – Tiago Ferreira – Daniel Mendes
- André Soares – Eurico Martins – Francisco Azevedo
- Rafael Coelho – Guilherme Santos – João Stoffel
- Francisco Grazina – Diogo Soares – Bruno Machado