

A INFLUÊNCIA DOS AVANÇOS RECENTES DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NA OPERAÇÃO DE SUBMARINOS



Capitão-Tenente Leonardo de Oliveira Siqueira

1. INTRODUÇÃO

A arma submarina, desde sua concepção mais primitiva, já alterava os rumos da guerra no mar de forma crucial. Na Segunda Guerra Mundial, mesmo antes do desenvolvimento do sistema de esnórquel, já destruía um número significativo de meios navais com a tática de matilha, por exemplo. Conforme a abordagem direta do combate no mar foi dando lugar à guerra de informação e à corrida armamentista, a característica intrínseca da ocultação trouxe aplicações das mais diversificadas para os submarinos.

O desenvolvimento da propulsão nuclear e de mísseis balísticos elevou o submarino a uma potência militar que não somente garante a dissuasão e a negação do uso do mar, como também o transforma em uma importante ferramenta estratégica para garantir a soberania e a defesa dos interesses nacionais. A integração da Inteligência Artificial (IA) com a arma submarina expande as possibilidades de aplicação tanto no controle da plataforma quanto na detecção e reconhecimento de alvos, bem como na coleta de informações de inteligência e monitoramento marinho.

Não somente na parte operativa, mas também logística, em particular na manutenção de sistemas mecânicos, elétricos e eletrônicos, a IA também se mostra eficiente. A capacidade de monitoramento sensorial e processamento de dados em massa tem se mostrado uma ferramenta útil para prever possíveis falhas e otimizar recursos ao executar, de forma precisa, a manutenção preditiva de sistemas.

O objetivo desse artigo é analisar como a IA aplicada nos submarinos modernos está trazendo uma nova forma de operação e manutenção e o que isso poderá impactar na aplicação estratégica da arma mais letal dos mares.

2. A EVOLUÇÃO TECNOLÓGICA DOS SUBMARINOS

Historicamente, a ideia de submarino surgiu no século XVII, quando as primeiras tentativas de construir embarcações submersíveis foram realizadas, sobretudo para fins militares. No entanto, o verdadeiro avanço ocorreu no século XIX, com a invenção do submarino *Nautilus*, por Robert Fulton, em 1800, e a criação do primeiro submarino de guerra prático, o *H.L. Hunley*, em 1864, durante a Guerra Civil Norte-Americana.

Ao longo do século XX, os submarinos evoluíram de maneira expressiva com inovações tecnológicas, como a propulsão a diesel e a energia nuclear, o que permitiu maior autonomia e capacidade de operação. Durante a Segunda Guerra Mundial, o desenvolvimento de sonar, torpedos guiados e cascos mais robustos aumentou a eficácia dos submarinos em combate.

Nos anos seguintes, os submarinos nucleares revolucionaram a guerra naval, permitindo missões de longa duração e maior velocidade submersa. As inovações contínuas, como sistemas de navegação avançados, sensores de última geração e maior capacidade de armamentos, mantêm os submarinos como uma das ferramentas mais sofisticadas no arsenal militar moderno.

A IA tem emergido como um diferencial estratégico crucial na guerra submarina, trazendo avanços significativos na detecção, análise e resposta a ameaças. A IA permite a automação de sistemas complexos a bordo de submarinos, como a detecção e rastreamento de alvos, otimizando o uso de sonar e sensores para identificar submarinos inimigos, minas e outros obstáculos com uma precisão muito maior do que os métodos tradicionais.

Além disso, algoritmos de IA são capazes de analisar grandes volumes de dados em tempo real, melhorando a

tomada de decisão e a capacidade de adaptação em cenários dinâmicos. Em termos de operações ofensivas, a IA também pode aprimorar o controle de armamentos, como torpedos guiados, ajustando sua trajetória durante o ataque para aumentar as chances de sucesso. Esse uso da IA não apenas fortalece as capacidades de combate, como também melhora a eficiência operacional e reduz a necessidade de intervenção humana direta, conferindo aos submarinos uma vantagem estratégica considerável nas modernas operações navais.

3. APLICAÇÕES DA IA NA OPERAÇÃO DE SUBMARINOS

3.1 Navegação autônoma e controle de rota

Com relação à navegação, a IA utiliza algoritmos avançados para analisar e calcular rotas mais eficientes com base em múltiplos fatores dinâmicos. Ao integrar dados de sensores como sonar, radar e outros sistemas de navegação, a IA consegue identificar obstáculos, padrões de movimento de alvos inimigos e até mudanças no ambiente subaquático, ajustando as rotas de forma instantânea. Isso permite que os submarinos, por exemplo, ajustem sua trajetória em resposta a novas informações, como correntes marítimas, ruídos ou alterações na profundidade, garantindo maior precisão e segurança em missões.

Além disso, a IA pode otimizar o consumo de energia ao calcular a rota mais eficiente em termos de combustível ou autonomia, o que é particularmente crucial em operações de longa duração, assegurando que o submarino cumpra sua missão com base na economia de combustível e maior tempo de operação submersa.

Os algoritmos de aprendizado de máquina (ML) podem ser aplicados inclusive para evitar colisões, por meio da análise e processamento em tempo real dos dados capturados por sensores a bordo. No caso das colisões, o aprendizado de máquina pode identificar padrões de movimento de objetos próximos, como outros submarinos, embarcações ou obstáculos submarinos, e prever trajetórias de colisão com alta precisão.

Com base nessas previsões, o sistema pode sugerir ou até mesmo executar manobras evasivas de modo automático, minimizando o risco de acidentes. Quanto ao consumo de energia, os algoritmos de ML podem analisar variáveis

como velocidade, profundidade e condições ambientais, aprendendo com os dados passados para calcular a forma mais eficiente de operar o submarino, ajustando os parâmetros de navegação e controle de propulsão para economizar combustível ou otimizar o uso da bateria. Com o tempo, esses sistemas de aprendizado tornam-se cada vez mais eficientes, ajustando-se às mudanças no ambiente e aprimorando a performance do submarino em diferentes condições operacionais.

Submarinos não tripulados têm ganhado destaque em diversas missões de exploração e operações militares. Exemplos notáveis incluem o *Bluefin-21*, desenvolvido pela empresa Bluefin Robotics, que é capaz de realizar missões de levantamento e monitoramento no fundo do mar sem a necessidade de tripulação a bordo. Outro exemplo é o *REMUS 6000*, um Veículo Autônomo Submarino (AUV, da sigla em inglês para “*Autonomous Underwater Vehicle*”) utilizado para exploração em grandes profundidades, capaz de realizar mapeamento geológico e busca de objetos submersos.

Como aplicação militar, o ROV *Sea Fox*, Veículo Submarino Operado Remotamente (*Remote Operated Vehicle*) utilizado por forças navais para a detecção e neutralização de minas subaquáticas, opera de forma autônoma com base em algoritmos de navegação assistida por IA. Quanto aos sistemas de navegação assistida por IA, submarinos como o USS *Virginia*, da Marinha dos EUA, incorporam tecnologias de IA para melhorar a precisão e a segurança da navegação, analisando dados de sonar, GPS e outros sensores para otimizar a rota e evitar obstáculos, ajustando automaticamente o percurso em tempo real. Essas inovações aumentam a autonomia, a eficiência e a segurança das operações submarinas, seja em contextos de pesquisa ou em missões de combate.

3.2 Detecção e identificação de ameaças

As redes neurais, um tipo avançado de algoritmo de aprendizado de máquina, têm se mostrado eficazes ao extremo na interpretação de dados de sonar e radares submarinos, acima de tudo quando se trata de lidar com grandes volumes de informações e padrões complexos. Essas redes são treinadas para reconhecer e classificar sinais

de sonar, identificando alvos, como outros submarinos, navios, ou obstáculos no fundo marinho, a partir dos ecos e reflexos detectados.

Combinada com uma robusta biblioteca de dados, as redes neurais podem aprender a distinguir entre diferentes tipos de alvos e ruídos naturais, como correntes ou fauna marinha, proporcionando uma análise mais precisa e confiável em tempo real. Ademais, as redes neurais são adaptativas, o que significa que, conforme recebem mais dados e experiências, elas se tornam melhores na interpretação e previsão das condições do ambiente subaquático, otimizando a navegação e melhorando a segurança e a eficiência das operações.

A identificação automática de embarcações inimigas e obstáculos submarinos por IA ocorre principalmente por meio de algoritmos de aprendizado de máquina, como redes neurais convolucionais (CNN, do inglês “*convolutional neural network*”), de elevadíssima eficácia no processamento de dados de sensores, como sonar e radar. Esses algoritmos são treinados com grandes volumes de dados, incluindo exemplos de sinais e imagens de embarcações e obstáculos, para reconhecer padrões específicos, como formas, tamanhos e movimentos característicos de diferentes tipos de alvos.

No caso do sonar, a IA pode analisar os ecos retornados, identificando características acústicas únicas de embarcações inimigas ou obstáculos no fundo marinho, como a assinatura acústica de um submarino ou a reflexão de uma mina subaquática. A IA pode ainda comparar os dados em tempo real com um banco de dados antes treinado, ajustando de maneira constante seus algoritmos, conforme o ambiente muda, como a variação de ruídos ou a presença de detritos. Com a ajuda de sistemas de fusão de dados, que integram informações de múltiplos sensores (como sonar, radar, câmeras e outros sistemas), a IA consegue aprimorar a precisão da identificação e a tomada de decisão, permitindo que o submarino tome ações evasivas ou inicie ataques com maior eficiência e segurança.

3.3 Manutenção preditiva e gestão de recursos

No campo da logística, a IA pode auxiliar na previsão de falhas mecânicas e na manutenção preditiva ao analisar dados em tempo real de sensores integrados aos sistemas

do submarino. Utilizando algoritmos de aprendizado de máquina, a IA pode monitorar variáveis críticas, como temperatura, vibração, pressão e desempenho de componentes mecânicos, identificando padrões que indicam possíveis falhas antes que elas ocorram.

Mediante treinamento em grandes volumes de dados históricos e operacionais, esses sistemas aprendem a reconhecer sinais precoces de desgaste, falhas em componentes específicos ou até mesmo falhas inesperadas em sistemas complexos. Com base nessa análise, a IA é capaz de prever com alta precisão quando uma falha pode acontecer, permitindo que a manutenção seja realizada de forma programada, antes que o problema afete a operação do submarino. Isso não só aumenta a segurança, evitando falhas fatais, mas também reduz os custos operacionais, já que as manutenções podem ser feitas de modo mais eficiente, otimizando o tempo e os recursos necessários para manter a embarcação em operação.

Em vez de seguir ciclos de manutenção fixos (Manutenção Preventiva – MPd), muitas vezes baseados em estimativas genéricas, a IA ajusta o calendário de intervenções com base no comportamento real dos sistemas, reduzindo o tempo de inatividade e o uso excessivo de recursos. Além disso, a MPd minimiza o desperdício de peças e componentes, garantindo que apenas as partes que de fato necessitam de reparo ou substituição sejam atendidas, o que contribui para a economia de materiais e mão de obra. Esse enfoque não só diminui os custos operacionais, mas também aumenta a eficiência do submarino, permitindo que ele opere de forma mais confiável e com maior tempo de disponibilidade para missões.

4. DESAFIOS DA IMPLEMENTAÇÃO DA IA EM SUBMARINOS

A confiabilidade dos sistemas de IA em condições extremas de operação, como as encontradas no ambiente submarino, é uma preocupação crítica, dado que esses ambientes podem ser desafiadores e imprevisíveis. Embora a IA seja projetada para processar grandes volumes de dados com eficiência e tomar decisões autônomas, as condições extremas, como pressões elevadas, baixas temperaturas e a presença de ruídos subaquáticos, podem afetar o desempenho dos sensores e dos algoritmos.

A robustez dos sistemas de IA depende de sua capacidade de lidar com incertezas e variações, ajustando-se em tempo real a ambientes em constante mudança. Para garantir a confiabilidade, é necessário que os sistemas sejam treinados com dados provenientes de diversos cenários, incluindo simulações de condições adversas, para que possam aprender a lidar com situações imprevistas.

Adicionalmente, os algoritmos de IA devem ser projetados com redundância e capacidade de adaptação, permitindo se ajustarem caso ocorram falhas nos sensores ou em outros sistemas. A implementação de monitoramento contínuo e atualizações em tempo real também é essencial para garantir a performance e a tomada de decisões seguras em situações extremas. O desenvolvimento de IA para operação em condições desafiadoras, como as encontradas no fundo do mar, exige, portanto, rigorosos testes e validações para garantir que o sistema seja confiável e eficaz, mesmo sob as mais severas circunstâncias.

A despeito dos avanços significativos que a IA traz nas operações submarinas, os riscos consideráveis em termos de cibersegurança e vulnerabilidades a ataques eletrônicos não podem ser ignorados. Sistemas de IA integrados a veículos subaquáticos, como os usados em submarinos, dependem de redes complexas e comunicação entre dispositivos, o que os torna alvos potenciais para ataques cibernéticos.

Hackers podem tentar interferir no controle do submarino, corromper os dados recebidos de sensores ou manipular as decisões autônomas tomadas pela IA, comprometendo a segurança da missão e a integridade da embarcação. A manipulação dos algoritmos de IA pode resultar em falhas catastróficas, como a detecção incorreta de alvos, mudanças imprevistas de rota ou até a exposição do submarino a ataques inimigos.

A proteção contra esses riscos exige medidas de segurança cibernéticas robustas: criptografia avançada, autenticação multifatorial e atualizações regulares de *software* para mitigar vulnerabilidades, entre outras. As operações militares, em particular, necessitam de sistemas de IA blindados contra tentativas de *hacking* para garantir que os submarinos possam operar com segurança e eficácia em um cenário de ameaças cibernéticas em constante evolução.

A implementação da IA em submarinos militares envolve custos elevados devido à complexidade tecnológica e aos requisitos de alta confiabilidade exigidos para operações

em ambientes extremos. Outros fatores incluem a formação especializada de pessoal para operar e monitorar esses sistemas, bem como a necessidade de garantir a compatibilidade com a infraestrutura e os sistemas existentes. Embora a IA possa oferecer vantagens em termos de eficiência operacional e segurança, os custos iniciais de pesquisa e desenvolvimento, acompanhada das despesas de implementação e manutenção, tornam a adoção dessa tecnologia um investimento substancial para as Forças Armadas.

CONCLUSÃO

A IA aplicada à arma submarina já é o presente e promete grandes perspectivas para o futuro. Embora as vantagens dessa aplicação sejam notáveis, ainda há carência quanto à garantia da robustez desses sistemas em ambientes hostis. É inegável que a IA é uma poderosa ferramenta no processamento de dados complexos com múltiplas variáveis e sua aplicação permanece como um excelente auxílio à tomada de decisão.

Seu recurso ainda é caro e, por isso, reservado a Marinhas que investem muito capital em seu desenvolvimento. Mas, como uma tecnologia que avança a cada dia, é provável que, em muito pouco tempo, ficará mais disponível e certamente revolucionará as operações navais.

REFERÊNCIAS

AI in naval engineering: dessia and naval group sign memorandum of understanding. **European Defense Review On-line (EDR)**, 26 mar. 2024. Disponível em: <https://www.edrmagazine.eu/%E2%96%BA-ai-in-naval-engineering-dessia-and-naval-group-sign-memorandum-of-understanding-mou>. Acesso em: 24 fev. 2025.

DEMPSEY, Michael. The Navy sub commanded by artificial intelligence. **BBC**, [s. l.], 20 mai. 2021. Disponível em: <https://www.bbc.com/news/business-56993035>. Acesso em: 12 fev. 2025.

ROUX, Jean-Pierre. AI in Naval Engineering: Dessia and Naval Group Sign Memorandum of Understanding. **Dessia**, Paris, 26 mar. 2024. Disponível em: <https://www.dessia.io/blog-posts/ai-in-naval-engineering-dessia-and-naval-group-sign-memorandum-of-understanding-mou>. Acesso em: 17 fev. 2025.

SAUNDERS, Olivia. Artificial Intelligence and its implications on future submarine warfare. **Sea Power**, Australia, 2019. Disponível em: <https://navalinstitute.com.au/artificial-intelligence-and-its-implications-on-future-submarine-warfare/>. Acesso em: 10 fev. 2025.

UPPAL, Rajesh. The silent hunt: how AI transforms submarine detection and underwater surveillance. **International Defense, Security & Technology**, California, 26 jun. 2024. Disponível em: <https://idstch.com/military/navy/the-silent-hunt-how-ai-transforms-submarine-detection-and-underwater-surveillance>. Acesso em: 31 jan. 2025.