



ESCOLA DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS DA AERONÁUTICA
DIVISÃO DE ENSINO
CURSO DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS 3º/2024

HELTON CESAR TORRES DE OLIVEIRA, Cap Av

Detecção de alvos de interesse em imagens SAR com auxílio de Inteligência Artificial

Rio de Janeiro

2024

ESCOLA DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS DA AERONÁUTICA
DIVISÃO DE ENSINO
CURSO DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS 3º/2024

HELTON CESAR TORRES DE OLIVEIRA, Cap Av

Detecção de alvos de interesse em imagens SAR com auxílio de Inteligência Artificial

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Escola de Aperfeiçoamento de Oficiais da Aeronáutica como requisito parcial para aprovação no Curso de Pós-Graduação *Lato Sensu* em Liderança com Ênfase em Gestão no COMAER.

Linha de Pesquisa: Emprego da Força Aérea

Orientador: Alexandra Vidal Pedinotti Zuma, Maj Farm

Rio de Janeiro

2024

HELTON CESAR TORRES DE OLIVEIRA, Cap Av

Detecção de alvos de interesse em imagens SAR com auxílio de Inteligência Artificial

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao
Curso de Aperfeiçoamento de Oficiais da Escola
de Aperfeiçoamento de Oficiais da Aeronáutica.

Aprovado por:

Presidente, Marcos Zeitone Koialainski Júnior, Maj Av - EAOAR

Alexandra Vidal Pedinotti Zuma, Maj Farm - EAOAR

Rio de Janeiro

2024

RESUMO

A tarefa de Inteligência, Vigilância e Reconhecimento (IVR) tem o objetivo de prover consciência situacional por meio de informações formuladas a partir do levantamento de dados. Para desenvolver essa Tarefa de Força Aérea pelo meio espacial, a Força Aérea Brasileira (FAB) passou a operar satélites equipados com radares de abertura sintética (SAR do inglês, *Synthetic Aperture Radar*). Esses sensores geram um volume massivo de dados, denominado imagem SAR, cuja análise eficaz, sem auxílio computacional, torna-se uma tarefa extremamente desafiadora. Este ensaio defende que a utilização de Inteligência Artificial (IA) na detecção de alvos de interesse em imagens SAR potencializa a análise dos dados. Para sustentar esta tese, argumenta-se que a utilização de IA permite maior precisão na detecção de alvos de interesse, pois a abordagem matricial realizada pela visão computacional permite avaliar os mínimos detalhes presentes em imagens. O outro argumento discutido é que essa técnica agiliza o processo de análise de imagens SAR geradas através do meio espacial, haja vista que a velocidade que uma IA leva para varrer essa imagem supera consideravelmente a da capacidade humana. Após discussão, conclui-se que a utilização de IA na detecção de alvos de interesse em imagens SAR proporciona informações mais precisas e céleres, potencializando a análise dos dados. Essa técnica também pode ser implementada em auxílio a qualquer processo de reconhecimento de imagem dos esquadrões aéreos da FAB.

Palavras-chave: inteligência artificial; imagem SAR; detecção de objetos.

1 INTRODUÇÃO

Inteligência, Vigilância e Reconhecimento é uma Tarefa de Força Aérea prevista na DCA 1-1, cujo objetivo é prover consciência situacional para as Forças amigas sobre o ambiente, fatores e condições em áreas de interesse. Para cumprir essa tarefa, pode-se utilizar meios espaciais, aeronaves não tripuladas ou até forças especiais para a coleta de informações (Brasil, 2020).

Em relação ao ambiente espacial, o Comando de Operações Aeroespaciais (COMAE) é o responsável por planejar, controlar e executar sistemas espaciais no Centro de Operações Espaciais (COPE). Entre as ferramentas operadas por esse Centro, estão os satélites equipados com sensores ópticos e radares, capazes de gerar dados voltados para a vigilância terrestre. Em operações militares sob responsabilidade do COMAE, as informações de inteligência que auxiliam na tomada de decisões, como os produtos gerados pelos equipamentos do COPE, são analisadas no Centro Conjunto de Inteligência (CCOI) (Brasil, 2024).

Em 2022, dois satélites da empresa ICEYE entraram em operação no COPE. A ICEYE tem se destacado na atividade de sensoriamento remoto devido à utilização de veículos espaciais equipados com radares SAR. Os produtos gerados por estes sensores, chamados de imagens SAR, contêm um volume massivo de dados e os analistas do CCOI usam somente o próprio olho humano como ferramenta para detectar alvos de interesse nessas imagens.

Entretanto, o olho humano é capaz de identificar somente parte dos detalhes contidos nas imagens SAR, o que resulta em uma análise pouco precisa. Além disso, ao realizar a varredura da imagem SAR satelital utilizando somente o olho humano, um analista pode levar de horas a dias para concluir sua análise, a depender do tamanho da imagem e da complexidade do cenário, podendo comprometer a oportunidade de uso da informação.

Sendo assim, este ensaio defende que a utilização de IA na detecção de alvos de interesse em imagens SAR potencializa a análise dos dados.

Para sustentar esta proposição, argumenta-se, primeiramente, que a utilização de IA permite maior precisão na detecção de alvos em imagens SAR. Ao analisar a imagem SAR de forma matricial, a IA é capaz de examinar os dados com um nível de detalhamento significativamente maior do que um analista humano, tornando-se uma ferramenta potencialmente útil.

O segundo argumento é que essa técnica traz agilidade no processo de análise de imagens SAR geradas a partir do meio espacial. A velocidade que uma IA leva para varrer uma imagem SAR satelital depende somente de sua capacidade processual, superando

consideravelmente a da capacidade humana e tornando o processo de análise do CCOI mais ágil.

2 INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NA DETECÇÃO DE OBJETOS EM IMAGENS SAR

Radares SAR utilizam uma antena para emitir ondas eletromagnéticas sobre uma área delimitada. Essas ondas interagem com a superfície e os objetos contidos no seu alcance e, a depender das características físicas destes objetos, as ondas retornam ou não ao radar. As ondas que retornam são captadas e transformadas em dados, que podem ser posteriormente utilizados (Richards, 2009). Essa técnica oferece vantagens por ser pouco afetada por condições meteorológicas adversas, não depender de iluminação solar e conseguir cobrir áreas extensas quando utilizada a partir de satélites (Paes, 2015).

Por sua vez, a Inteligência Artificial está presente em diversas tecnologias do nosso cotidiano, desde sites de busca da internet a aplicativos de smartphones. O conceito de inteligência em computação pode ser interpretado de diferentes maneiras, mas, de forma simples, considera-se um sistema inteligente quando suas ações são adequadas para diversas situações e objetivos, além de se adaptar ao longo do tempo e ao ambiente (Poole, 1998).

Um sistema que aprende a partir de dados toma decisões com base em suas limitações sensoriais e na capacidade de processamento. No caso do reconhecimento de imagens, a IA utiliza uma rede neural para extrair características, criando uma “máscara” que será usada na identificação do objeto de interesse. Esse processo é dividido em duas fases principais.

Na primeira fase, ocorre o treinamento da IA, onde são apresentadas as amostras do objeto a ser detectado. Para esse treinamento, são utilizadas Unidades de Processamento Gráfico (GPU, do inglês *Graphics Processing Unit*) de alta performance, que podem ser adquiridas ou alugadas em plataformas online (De Oliveira, 2021).

Após o treinamento, a IA passa para a fase de ativação, onde ocorre a detecção propriamente dita. Nessa etapa, uma imagem de entrada é apresentada ao algoritmo e a IA retorna esta imagem com as marcações dos objetos detectados, de acordo com um limite de probabilidade pré-definido. Para essa ativação, recomenda-se o uso de computadores com alta capacidade de processamento, a fim de tornar o processo o mais ágil possível.

2.1 DETECÇÃO PRECISA POR MEIO DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL EM IMAGENS SAR

O olho humano possui consideráveis limitações para distinguir tons de cinza contíguos, sendo capaz de perceber apenas entre 10 e 15 variações (Marques Filho; Vieira Neto, 1999). No entanto, as imagens SAR apresentam, no mínimo, 256 tonalidades de cinza. Sendo assim, a detecção de um objeto em imagens com uma quantidade de dados tão vasta, sem auxílio computacional, torna-se uma tarefa extremamente desafiadora. Por outro lado, ao utilizar-se da visão computacional, adota-se uma abordagem puramente matemática e estatística, oferecendo maior precisão na análise dessas imagens.

Imagens digitais, como as visualizadas em computadores, podem ser convertidas em matrizes numéricas. Segundo Gonzales e Woods (2010),

Uma imagem pode ser definida como uma função bidimensional, $f(x, y)$, em que x e y são coordenadas espaciais (plano), e a amplitude de f em qualquer par de coordenadas (x, y) é chamada de intensidade ou nível de cinza da imagem nesse ponto. Quando x , y e os valores de intensidade de f são quantidades finitas e discretas, chamamos de imagem digital (Gonzales; Woods, 2010, p. 1)

O menor elemento que forma uma imagem digital se chama *pixel*, um estrangeirismo originário do inglês, que é a junção de “*picture*” e “*element*”, cuja intensidade é denominada *bit* (*binary digit*), calculada pela fórmula 2^n , onde n é a quantidade de *bits*. (Gonzales; Woods, 2010). A resolução de uma imagem está diretamente ligada à quantidade de *pixels* que a compõem.

As imagens SAR possuem, em sua maioria, a intensidade de 8 *bits*, ou seja, $2^8 = 256$ tons de cinza, mas, os equipamentos mais modernos podem atingir 16 *bits*, com até 65.536 tons diferentes (De Oliveira, 2021). Na escala de cinza, o branco representa o retorno mais intenso das ondas eletromagnéticas, o preto significa ausência de sinal e os tons de cinza indicam variações intermediárias de intensidade. Isso evidencia o tipo de material que a onda interagiu, bem como a dificuldade enfrentada pelos analistas do CCOI ao tentar identificar objetos de interesse apenas com a visão humana.

Neste contexto, diversos trabalhos demonstram a eficácia de algoritmos na detecção de alvos em imagens SAR. Chang *et al.* (2019) e Dechesne *et al.* (2019) obtiveram taxas de precisão superiores a 90% na classificação de embarcações marítimas em imagens SAR. Chang *et al.* (2019), por exemplo, utilizou imagens que variavam sua resolução espacial entre 1 e 5 metros para detectar embarcações mercantes que variavam entre 100 e 300 metros de comprimento. Já De Oliveira (2021) alcançou índices de precisão acima de 80% ao detectar embarcações pesqueiras, entre 12 e 20 metros, em imagens de resolução espacial de 3 metros de uma região da costa brasileira com o mar em estado calmo. Todos esses trabalhos

evidenciam o quão eficaz a Inteligência Artificial tem se tornado na detecção de objetos em imagens SAR.

Em 2022, durante a Operação Yanomami, o CCOI utilizou imagens SAR da região dos rios da Amazônia para monitorar a movimentação de dragas envolvidas na exploração ilegal de garimpo. Estas dragas refletem ondas eletromagnéticas de maneira muito mais intensa que a superfície aquática calma, facilitando sua detecção. Este cenário possuía características muito similares às do trabalho de De Oliveira (2021) e o uso de uma IA com alta taxa de acurácia teria sido um importante auxílio para essa operação.

Na ocasião, após a análise da imagem SAR, uma aeronave de reconhecimento era enviada para confirmar os alvos. Entretanto, com uma IA assertiva, esse procedimento seria desnecessário, economizando tempo e recursos. O monitoramento das dragas poderia ser realizado de forma estritamente remota, sem comprometer a confiabilidade das informações e agilizando o processo de tomada de decisões.

Por fim, reforça-se que a utilização de IA aumenta a precisão da detecção de alvos de interesse em imagens SAR, potencializando a análise dos dados.

2.2 AGILIDADE NO PROCESSO DE ANÁLISE DE IMAGENS SAR POR MEIO DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

Durante a Operação Yanomami, a busca por bases de garimpeiros, com instalações de dimensões significativas no interior da Floresta Amazônica, tornava-se um desafio extremamente demorado para o especialista do CCOI utilizando apenas a detecção visual. As grandes dimensões das áreas a serem analisadas dificultavam a agilidade na detecção dos alvos de interesse, atrasando a tomada de decisões.

Dependendo do tipo de alvo a ser identificado e das dimensões da imagem SAR, um especialista do CCOI pode levar de horas a dias para concluir sua análise com segurança. Isso ocorre porque, de acordo com o modo de aquisição utilizado, uma única imagem SAR gerada pelos satélites da ICEYE pode cobrir uma área de 840 km x 100 km (ICEYE, 2024). Nesse contexto, a Inteligência Artificial se torna uma ferramenta de análise ágil e eficiente para uma quantidade tão expressiva de dados.

Em testes realizados com algumas imagens utilizadas na Operação Yanomami, observou-se que, para uma imagem com dimensões de 20.000 x 30.000 *pixels*, um computador doméstico executa o ciclo do algoritmo de IA proposto por De Oliveira (2021) em aproximadamente trinta minutos. Analisando Wu *et al.* (2021) e considerando as

características deste algoritmo, é possível afirmar que máquinas com GPUs mais potentes e com maior capacidade de memória volátil, possam reduzir esse tempo consideravelmente.

Ainda para o algoritmo de De Oliveira (2021), há de se pontuar que parte do processo consiste em particionar a imagem em várias subimagens, ativar a IA em cada uma delas separadamente e, ao final desta tarefa, concatená-las novamente. Ao se utilizar uma máquina dotada de um processador composto por vários núcleos, essa tarefa pode ser paralelizada entre eles e tornar o ciclo do algoritmo quase que instantâneo.

A análise realizada pelo especialista do CCOI não se resume apenas à detecção de alvos, mas, de uma maneira geral, ela precisa levantar todos os dados envolvidos no cenário. No exemplo da Operação Yanomami, além de detectar as bases dos garimpeiros, também eram importantes informações como relevo, vegetação, acesso por estradas, pistas de pouso próximas e equipamentos visualizados. Todos esses aspectos apoiam a tomada de decisões. Quanto menos tempo o analista demorar na tarefa de varredura da imagem em busca dos alvos, mais tempo ele tem disponível para as análises auxiliares, e é nesse ponto que a IA pode ser empregada com muita eficiência.

O monitoramento das dragas na Operação Yanomami era altamente dinâmico. Após a grande visibilidade que a operação obteve, as dragas passaram a não permanecer no mesmo local por muito tempo. Logo, a agilidade com que as informações sobre a localização das dragas eram levantadas fazia toda a diferença na validade daquele dado e na sua capacidade de auxiliar na tomada de decisões. Isso corrobora com Morgan *et al.* (2020) quando afirma que a velocidade e a qualidade das informações fornecidas pela IA têm um impacto positivo no processo de tomada de decisões militares.

Dito isso, reitera-se que a utilização de IA na detecção de alvos de interesse em imagens SAR traz agilidade ao processo, potencializando a análise dos dados.

3 CONCLUSÃO

Na era da informação, a tarefa de IVR assume papel fundamental para o sucesso de uma operação militar, pois os rígidos critérios de engajamento requerem dados detalhados e altamente precisos, suportados por um sistema de Inteligência robusto. Entretanto, interpretar uma quantidade massiva de dados, para bem utilizá-los, torna-se um desafio rotineiro. Para esse problema, o auxílio computacional, especialmente por meio de Inteligência Artificial, tem se mostrado uma solução altamente eficaz.

Portanto, esse ensaio defendeu que a utilização de IA na detecção de alvos de interesse em imagens SAR potencializa a análise dos dados.

Primeiramente, foi discutido que a utilização de IA permite maior precisão na detecção de alvos em imagens SAR. Evidenciou-se que a utilização de IA nesta tarefa eleva a exatidão da análise, pois a abordagem matricial da visão computacional permite detectar variações sutis de tonalidade, maximizando a capacidade de identificar objetos com precisão. Nesse contexto, foi demonstrado que a utilização da Inteligência Artificial para a detecção de alvos de interesse aumenta a precisão e aprimora a análise das imagens SAR.

Além disso, observou-se que a utilização de IA na detecção de alvos de interesse em imagens SAR traz agilidade ao processo. A velocidade com que a IA procede a varredura dessas imagens em busca dos alvos, quando empregada a partir de computadores com alta capacidade processual, supera consideravelmente o desempenho humano. Sendo assim, comprova-se que o uso de IA nessa tarefa agiliza o processo, garantindo uma entrega mais rápida dos resultados e promovendo o aproveitamento eficaz da informação.

Dessa forma, conclui-se que a utilização de IA na detecção de alvos de interesse em imagens SAR proporciona informações mais precisas e céleres, potencializando a análise dos dados. Ademais, a técnica apresentada neste trabalho pode ser replicada em qualquer processo de reconhecimento de imagens dos esquadrões aéreos da FAB. Um exemplo seria os esquadrões que operam veículos aéreos não tripulados equipados com sensores ópticos. A IA pode detectar alvos nesse tipo de imagem, inclusive nos vídeos em tempo real, auxiliando na tomada de decisão tática. Extrapolando-se para o nível estratégico, IAs são capazes de sugerir linhas de ação, baseadas em cálculos de probabilidade contextual, fornecendo suporte aos planos desse nível decisório.

A Inteligência Artificial é um avanço tecnológico que está mudando a maneira como a sociedade vive atualmente e as Forças Militares que não explorarem ao máximo suas capacidades estarão em desvantagem no campo de batalha.

REFERÊNCIAS

BRASIL. Ministério da Defesa. Comando da Aeronáutica. Comando de Operações Aeroespaciais. Portaria nº 198/CPOGI, de 15 de março de 2024. Aprova a reedição do RICA 20-39 “Regimento Interno do Comando de Operações Aeroespaciais”. **Boletim do Comando da Aeronáutica**, Rio de Janeiro, n. 55, f. 4242, 20 mar. 2024. Disponível em: <https://www.sislaer.fab.mil.br/>. Acesso em: 28 set. 2024.

BRASIL. Ministério da Defesa. Comando da Aeronáutica. Estado-Maior da Aeronáutica. Portaria nº 1.225/GC3, de 10 de novembro de 2020. Aprova a reedição da Doutrina Básica da Força Aérea Brasileira – Volume 2 – DCA 1-1. **Boletim do Comando da Aeronáutica**, Rio de Janeiro, n. 205, f. 14971, 12 nov. 2020. Disponível em: <https://www.sislaer.fab.mil.br/>. Acesso em: 28 set. 2024.

CHANG, Y. L. *et al.* Ship detection based on YOLOv2 for SAR imagery. **Remote Sensing**, [s. l.], v. 11, n. 7, p. 786-799, 2019. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/332177161_Ship_detection_based_on_YOLOv2_for_SAR_imagery. Acesso em: 01 out. 2024.

DE OLIVEIRA, H. C. T. **Detecção automática de pequenas embarcações em imagens SAR da constelação ICEYE com uso de uma rede neural convolucional**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Lato Sensu) - Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, 2021.

DECHESNE, C. *et al.* Ship identification and characterization in Sentinel-1 SAR images with multi-task deep learning. **Remote Sensing**, [s. l.], v. 11, n. 24, p. 2997-3014, 2019. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2072-4292/11/24/2997>. Acesso em: 1 out. 2024.

GONZALEZ, R. C.; WOODS, R. E. **Processamento de Imagens Digitais**. São Paulo: Editora Edgard Blucher Ltda, 2010.

ICEYE. **Imaging Modes**. Espoo, 2024. Disponível em: <https://www.iceye.com/sar-data/imaging-modes>. Acesso em: 2 out. 2024.

MARQUES FILHO, O.; VIEIRA NETO, H. **Processamento digital de imagens**. Rio de Janeiro: Brasport, 1999. Disponível em: <https://www.ogemarques.com/wp-content/uploads/2014/11/pdi99.pdf>. Acesso em: 1 out. 2024.

MORGAN, F. E. *et al.* **Military Applications to Artificial Intelligence: Ethical Concerns in an Uncertain World**. Santa Monica, California: RAND Corporation, 2020. E-book. Disponível em: https://www.rand.org/pubs/research_reports/RR3139-1.html. Acesso em: 7 out. 2024.

PAES, R. L. **Detecção de alvos no mar em imagens SAR explorando recursos da polarimetria compacta em modo híbrido**. 2015. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2015.

POOLE, D.; MACKWORTH, A.; GOEBEL, R. **Computational Intelligence: a logical approach**. Nova Iorque: Oxford University Press, 1998. Disponível em: <https://www.cs.ubc.ca/~poole/ci.html>. Acesso em: 5 out. 2024.

RICHARDS, J. A. **Remote Sensing with Imaging Radar**. Berlin: Springer Berlin Heidelberg, 2009.

WU, Y. *et al.* Elastic Deep Learning in Multi-Tenant GPU Clusters. **IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems**, [s. l.], v. 99, n. 1, p. 1-16, 2021. Disponível em: https://www.cse.cuhk.edu.hk/~jcheng/papers/edl_tpds21.pdf. Acesso em: 7 out. 2024.