

GIẢI QUYẾT BÀI TOÁN KHÓ VỀ PHÁT HIỆN MỤC TIÊU, ỨNG DỤNG TRONG RA-ĐA CẢNH GIỚI BỜ

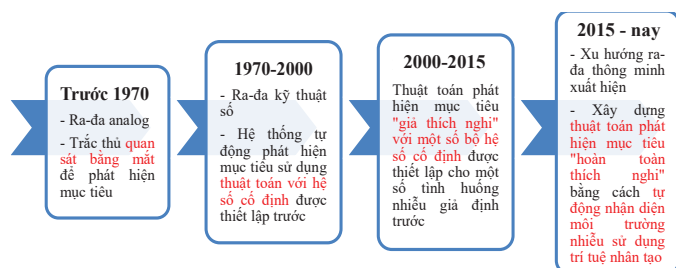
Trần Vũ Hợp, Lưu Hoài Nam, Đồng Xuân Hoàng, Nguyễn Đức Dương, Lê Trung Đức

Trung tâm ra-đa, Tổng công ty Công nghiệp Công nghệ cao Viettel

Sáng chế “Phương pháp phát hiện mục tiêu mặt nước trong môi trường nhiễu, ứng dụng trong đài ra-đa cảnh giới bờ” của Tổng công ty Công nghiệp Công nghệ cao Viettel (VHT) đã được bảo hộ tại Mỹ vào tháng 10/2020. Sáng chế này là một trong những thành tựu quan trọng của VHT nói riêng và Tập đoàn Viettel nói chung, góp phần vào nghiên cứu, chế tạo hệ thống ra-đa phát hiện mục tiêu mặt nước trong môi trường nhiễu, ứng dụng trong quân sự và dân sự (Đài ra-đa VRS-CSX).

Mở đầu

Chất lượng hoạt động của một đài ra-đa được thể hiện bằng khả năng quan sát, phát hiện mục tiêu thực tế trong điều kiện môi trường nhiễu (nhiều tiêu cực, nhiễu tích cực). Các giải pháp giải quyết vấn đề nhiễu có thể được tóm lược qua 4 giai đoạn như trình bày trong hình 1.

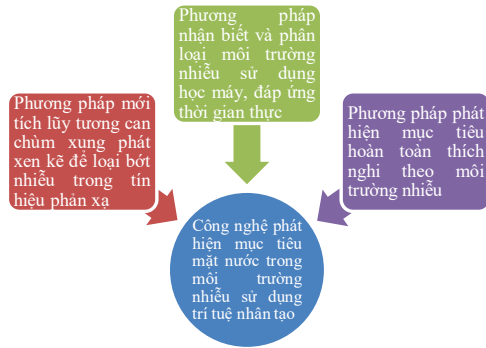


Hình 1. Các giai đoạn phát triển công nghệ phát hiện mục tiêu ra-đa.

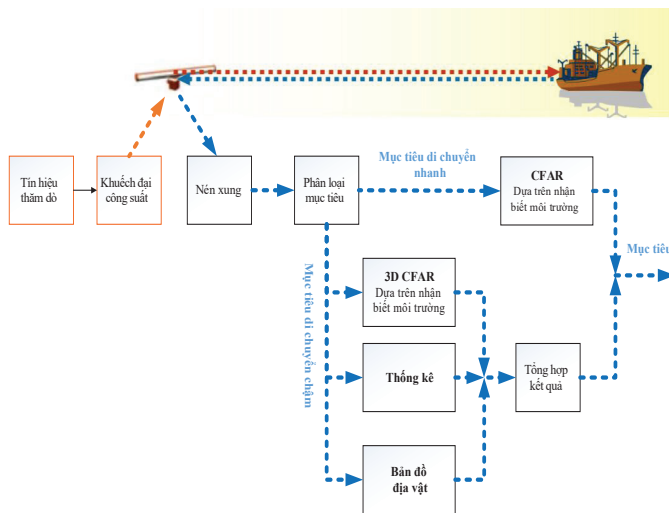
Có thể thấy, để nâng cao chất lượng đài ra-đa thì vấn đề then chốt là phải phân tích, nhận diện được đặc tính của môi trường trong thời gian thực để có những tham số thích nghi với sự thay đổi của môi trường. Đài ra-đa VRS-CSX (hình 2) đã đưa trí tuệ nhân tạo vào sản phẩm để giải quyết vấn đề then chốt này. Nhóm tác giả đã sáng tạo ra công nghệ mới, đạt trình độ tiên tiến quốc tế, đó là “Công nghệ phát hiện mục tiêu mặt nước trong môi trường nhiễu sử dụng trí tuệ nhân tạo”. Bản chất của công nghệ này nằm ở các giải pháp mới (hình 3 và 4).



Hình 2. Đài ra-đa VRS-CSX.



Hình 3. Công nghệ phát hiện mục tiêu mặt nước trong môi trường nhiễu sử dụng trí tuệ nhân tạo.



Hình 4. Sơ đồ xử lý của công nghệ phát hiện mục tiêu mặt nước trong môi trường nhiễu sử dụng trí tuệ nhân tạo.

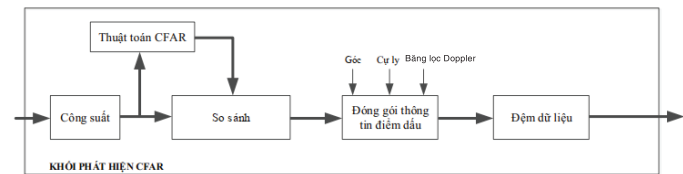
Hai thuật toán quan trọng

Hai thuật toán mới được phát triển liên quan tới khối tự động phát hiện mục tiêu ổn định xác suất báo động nhầm (CFAR). Thuật toán 1 được xây dựng để bổ sung cho thuật toán CFAR truyền thống khi có thêm đánh giá về môi trường dựa trên học máy. Thuật toán 2 đề xuất phương án sử dụng CFAR 3D dựa trên phân nhóm mục tiêu để đáp ứng yêu cầu tính toán theo thời gian thực.

Thuật toán 1: nhận biết và xử lý thích nghi theo khu vực nhiễu bằng trí tuệ nhân tạo để tăng khả năng phát hiện mục tiêu của đài ra-đa

Các đài ra-đa phát hiện mục tiêu thông qua khối phát hiện CFAR (hình 5) với nguyên lý cơ bản là: nếu tín hiệu phản hồi tại một ô cụ lý có công suất vượt quá một ngưỡng thì tại đó có mục tiêu. Ngưỡng

này được tự động xác định dựa trên thông tin cục bộ về công suất của nhiễu hoặc tạp địa vật từ các ô cụ lý lân cận với ô đang xét, xác suất phát hiện đúng và xác suất báo động nhầm của đài ra-đa. Có hai cách thực hiện thuật toán CFAR phổ biến là: CA-CFAR (Cell-Averaging CFAR) và OS-CFAR (Order-Statistics CFAR). Mỗi thuật toán CFAR có cách lấy ngưỡng phát hiện riêng và có hiệu quả nhất định đối với mỗi loại môi trường. Cụ thể, CA-CFAR hoạt động tốt trong môi trường đồng nhất (môi trường nhiễu trắng), tuy nhiên trong môi trường không đồng nhất (nhiều mục tiêu giao thoa, nhiễu biển hay nhiễu khí tượng), thuật toán OS-CFAR lại cho kết quả tốt hơn so với CA-CFAR. Như vậy, chúng ta hoàn toàn có thể tăng khả năng phát hiện của đài ra-đa nếu biết trước khu vực nào đang có nhiễu biển, khu vực nào đang có nhiễu khí tượng, khu vực nào chỉ có nhiễu trắng.



Hình 5. Sơ đồ khối phát hiện CFAR.

Thực tế, thời tiết luôn thay đổi, nhiễu biển, nhiễu khí tượng có thể xuất hiện ở mọi lúc, mọi nơi trong khu vực giám sát. Vấn đề đặt ra là: làm sao để hệ thống có thể tự động nhận biết và phân tách ra từng khu vực nhiễu trong quá trình xử lý tín hiệu ra-đa phản hồi? Bài toán này rất khó và là mối quan tâm hàng đầu của các nhà nghiên cứu, chế tạo ra-đa trên thế giới trong mục tiêu chế tạo ra-đa thông minh. Theo tìm hiểu của nhóm nghiên cứu thì các kết quả công bố trên thế giới hầu hết mới chỉ dừng ở nghiên cứu lý thuyết mà chưa được chế tạo trên thực tế.

Lý do nằm ở bài toán khoanh vùng khu vực có nhiễu làm sao thật hiệu quả để có thể đáp ứng khả năng tính toán theo thời gian thực trong điều kiện khối lượng tính toán nhiều, tài nguyên hệ thống hạn chế. Nhóm nghiên cứu đã đề xuất thuật toán hoàn toàn mới để giải quyết vấn đề dựa trên kết quả phân tích thống kê một số lượng lớn mẫu tín hiệu ra-đa phản hồi từ mục tiêu, từ nhiễu (khí tượng, nhiễu biển). Cụ thể: tín hiệu phản hồi mục từ mục tiêu có xu hướng ổn định giữa các xung, ổn định cả về vận tốc Doppler, công suất, và phân bố. Tuy nhiên, tín hiệu phản hồi từ nhiễu thì mức độ dao động lớn hơn và thường không đồng nhất về phân bố. Giải pháp của nhóm nghiên cứu là: sử dụng phép toán vi sai

tín hiệu phản hồi giữa các xung để tiên xác định được các khu vực có thể có nhiễu. Phép toán vi sai tín hiệu phản hồi giữa các xung hoàn toàn đáp ứng thời gian thực. Chỉ với thao tác đơn giản này, lượng lớn dữ liệu đầu vào đã được phân tách thành 2 vùng (vùng nghi có nhiễu và vùng không nhiễu).

Những khu vực không có nhiễu sẽ được đưa vào bộ phát hiện CA-CFAR để tính toán, tìm kiếm mục tiêu. Vùng nghi có nhiễu sẽ được đưa vào học máy để xử lý thêm. Như vậy, thay vì phải đưa một lượng lớn thông tin vào xử lý, chúng ta chỉ cần xử lý bài toán nhận diện nhiễu ở những khu vực nghi là có nhiễu (là kết quả của bước tính toán vi sai). Phương án này đã làm giảm yêu cầu về tài nguyên và thời gian tính toán. Đối với khu vực nghi có nhiễu, bộ phát hiện CFAR được kết hợp với thuật toán học máy để loại nhiễu và phát hiện mục tiêu.

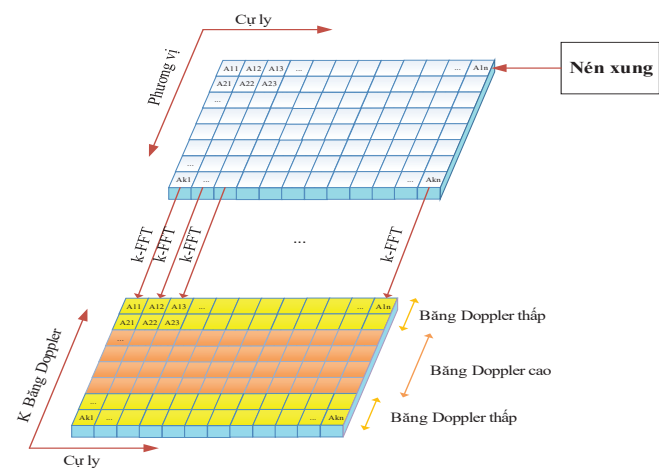
Để phân loại môi trường nhiễu, thuật toán sẽ tiến hành huấn luyện mô hình với hai nhãn “đồng nhất” (homogenous - là môi trường chỉ có nhiễu trắng) và “không đồng nhất” (non-homogenous - là môi trường chứa nhiễu khí tượng, nhiễu biển, nhiễu địa vật hoặc hỗn hợp). Một bộ dữ liệu chuẩn được sử dụng để làm tập huấn luyện. Kỹ thuật Bagging được áp dụng để tăng độ chính xác phân loại. Đây là một phương pháp kết hợp sự dự đoán từ nhiều mô hình khác nhau để đưa ra kết quả dự đoán chính xác hơn so với kết quả dự đoán của từng mô hình riêng lẻ. Nếu kết quả nhận biết là môi trường “đồng nhất”, thuật toán CA-CFAR sẽ được chọn để tính ngưỡng TZ và từ đó kiểm tra xem mục tiêu có trong khu vực hay không. Ngược lại, thuật toán OS-CFAR sẽ được sử dụng để lấy ngưỡng TZ và phát hiện mục tiêu nếu kết quả nhận biết là môi trường “không đồng nhất”.

Thuật toán 2: giải pháp sử dụng thuật toán CFAR 3 chiều (cự ly - phương vị - Doppler) để phát hiện mục tiêu trong môi trường nhiễu khi tài nguyên hệ thống hạn chế

Các thuật toán CFAR hiện nay thường chỉ sử dụng 1D (chỉ theo chiều cự ly) hoặc 2D (theo chiều cự ly và phương vị) để có thể đáp ứng được yêu cầu tính toán theo thời gian thực. Tuy nhiên, các thuật toán CFAR 1D, 2D truyền thống có nhược điểm là không loại được nhiễu nếu tín hiệu phản hồi từ nhiễu cũng có cấu trúc (ví dụ như nhiễu biển, nhiễu địa vật, nhiễu khí tượng). Việc sử dụng thêm thông tin Doppler sẽ giúp loại nhiễu tốt hơn do Doppler giữa các xung phản hồi của mục tiêu có xu hướng ổn định hơn so với nhiễu. Mặc dù vậy, vấn đề phát

sinh gặp phải vẫn là đảm bảo hệ thống đáp ứng tính toán theo thời gian thực. Nếu đưa toàn bộ dữ liệu của 1 vòng quét ra-đa vào tính toán CFAR 3D thì hệ thống sẽ không thể đáp ứng thời gian thực. Vì vậy, cần thiết để xuất thuật toán mới theo hướng sử dụng CFAR 3D nhưng đảm bảo tính toán theo thời gian thực để tăng khả năng loại nhiễu và phát hiện mục tiêu của đài.

Nhóm tác giả sử dụng giải pháp phân nhóm mục tiêu trước khi đưa vào tính toán CFAR. Việc phân nhóm mục tiêu có thể dễ dàng thực hiện dựa vào tính toán FFT (Fast Fourier Transform) như hình 6. Cụ thể, các mục tiêu di chuyển chậm và nhiễu sẽ nằm ở các băng lọc Doppler thấp, các mục tiêu di chuyển nhanh sẽ nằm ở các băng lọc Doppler còn lại. Thuật toán CFAR 3D chỉ cần áp dụng với các mục tiêu di chuyển chậm, còn với các mục tiêu ở các băng lọc Doppler cao sẽ được áp dụng thuật toán CFAR 2D để giảm tài nguyên tính toán.



Hình 6. Phương pháp phân nhóm mục tiêu dựa vào băng lọc Doppler.

Theo tìm hiểu của nhóm tác giả, trên thế giới mới chỉ có một số nước có nền công nghiệp quốc phòng phát triển đã công bố sử dụng công nghệ tự động phân loại môi trường và xử lý thích nghi với môi trường trong sản phẩm ra-đa biển của mình. Bằng việc sáng tạo công nghệ mới đạt trình độ tiên tiến quốc tế, sản phẩm đài ra-đa VRS-CSX do Viettel chế tạo trở thành một trong số ít dòng ra-đa cảnh giới biển tầm trung trên thế giới được trang bị công nghệ có khả năng xử lý thích nghi theo môi trường nhiễu.