

TRÍCH YẾU LUẬN ÁN TIẾN SĨ

Tên tác giả: Trần Vũ Hợp

Tên luận án: Nâng cao khả năng lọc nhiễu, cải thiện chất lượng đài ra-đa phân giải cao.

Ngành khoa học của luận án: Kỹ thuật viễn thông

Chuyên ngành: Kỹ thuật viễn thông Mã số: 9520208

Tên đơn vị đào tạo: Trường Đại học Công nghệ, Đại học Quốc gia Hà Nội

1. Mục đích và đối tượng nghiên cứu của luận án

Luận án nghiên cứu các giải pháp xử lý nhiễu cho hệ thống ra-đa phân giải cao nhằm nâng cao khả năng phát hiện, phân loại và theo dõi mục tiêu trong môi trường nhiễu phức tạp. Đối tượng nghiên cứu là hai chủng loại tiêu biểu: ra-đa FMCW giám sát tầm thấp và ra-đa xung cảnh giới tầm xa; xét ba dạng nhiễu đặc thù: (1) Nhiễu pha do tín hiệu rò giữa kênh phát-thu, (2) Nhiễu rời rạc từ chim và phương tiện mặt đất, (3) Nhiễu tiêu cực hỗn hợp phi Gaussian và không đồng nhất.

2. Các phương pháp nghiên cứu đã sử dụng

Luận án sử dụng cách tiếp cận tích hợp, đa tầng - kết hợp đồng bộ phân tích lý thuyết và mô phỏng, thiết kế và chế tạo phần cứng cao tần, xử lý tín hiệu kết hợp học máy, cùng thực nghiệm kiểm chứng trên các đài ra-đa đang vận hành; bảo đảm phát triển giải pháp đồng bộ từ phần cứng đến thuật toán trong điều kiện vận hành thực tế.

3. Các kết quả chính và kết luận

Luận án đã đề xuất ba giải pháp khoa học - kỹ thuật và một nội dung kiểm chứng thực nghiệm trên các đài ra-đa đang vận hành:

Đóng góp thứ nhất: Giải pháp giảm nhiễu pha qua thiết kế ăng-ten cách ly cao. Luận án đề xuất cấu trúc ăng-ten mảng khe ống dẫn sóng định hướng cao tích hợp lưới lọc phân cực. Khác với phần lớn nghiên cứu hiện hành xử lý nhiễu pha ở khối phát hoặc hậu xử lý - vốn gia tăng độ phức tạp xử lý số - giải pháp đề xuất giải quyết bài toán ngay từ thiết kế phần cứng. Hệ số cách ly phát-thu đạt 85 dB, vượt rõ rệt mức ≤ 80 dB của các công bố quốc tế tiêu biểu cùng dải tần, qua đó cải thiện đáng kể độ ổn định đo cự ly và vận tốc của ra-đa FMCW.

Đóng góp thứ hai: Giải pháp lọc nhiễu rời rạc và phân loại UAV trong giám sát tầm thấp. Luận án phát triển chuỗi xử lý DDDCR khai thác đặc trưng vi chớp-le của cánh quạt drone, kết hợp bản đồ giao thông và các mô hình học máy để phân biệt UAV với chim, ô-tô, xe máy. Khác với các nghiên cứu trước chủ yếu phân biệt mục tiêu sinh học hoặc đòi hỏi chiếu xạ liên tục, phương pháp đề xuất hoạt động hiệu quả với chu kỳ quét ngắn của ra-đa cảnh giới. Kết quả: 97% nhiễu rời rạc được loại bỏ, 100% số drone

phân loại chính xác; phát hiện ổn định DJI Phantom 4 tại 3,5 km, tầm phân loại cải thiện $1,6 \div 3,2$ lần tùy kịch bản bay so với ra-đa thương mại Elvira (1,1 km).

Đóng góp thứ ba: Giải pháp xử lý nhiễu hỗn hợp trong ra-đa xung cảnh giới tầm xa. Luận án xây dựng thuật toán xử lý đa búp sóng kết hợp CFAR hai giai đoạn thích nghi theo cụm nhiễu, dùng phân cụm HDBSCAN và xấp xỉ hàm mật độ xác suất phi Gaussian bằng đa thức Bernstein để xác định ngưỡng cục bộ tối ưu cho từng vùng nhiễu. Khác với CFAR truyền thống dựa trên giả định phân bố cố định, đồng nhất - dễ suy giảm hiệu năng trong môi trường thực - phương pháp đề xuất thích ứng linh hoạt theo đặc tính thống kê thực. Trên ra-đa cảnh giới 3D tầm 360 km, SNR mục tiêu tăng khoảng 8 dB (tại cự ly 70 km), số báo động làm giảm hơn 90% so với CA-CFAR truyền thống; phương pháp đề xuất duy trì được tính liên tục của quỹ đạo mục tiêu khi đi vào vùng nhiễu - kết quả mà các thuật toán đối chứng đều không đạt được.

Đóng góp thứ tư: Kiểm chứng thực nghiệm trên các đài ra-đa đang vận hành. Các giải pháp được tích hợp và đánh giá trên nguyên mẫu ra-đa FMCW giám sát tầm thấp và ra-đa cảnh giới 3D tầm xa, đáp ứng yêu cầu thời gian thực. Kết quả công bố trên 02 tạp chí quốc tế ISI/SCOPUS, 04 hội nghị khoa học quốc tế và 01 sáng chế trong nước.

4. Kết luận

Luận án đã giải quyết thành công bài toán xử lý nhiễu đa tầng cho ra-đa phân giải cao trên cả hai chủng loại FMCW và xung, với hai luận điểm cốt lõi: thiết kế phần cứng ăng-ten cách ly cao để giảm nhiễu pha - khác biệt với các nghiên cứu hiện hành chủ yếu tập trung ở khối phát/hậu xử lý; và các thuật toán phát hiện thích nghi theo cụm nhiễu - khắc phục hạn chế của CFAR truyền thống. Việc tích hợp đặc trưng vi đồ-p-le với học máy là hướng hiệu quả để phân biệt UAV với nhiễu rời rạc di động.

Hướng phát triển tiếp theo: bảo đảm độ ổn định pha giữa các phần tử phát-thu, ứng dụng học sâu khai thác sâu hơn đặc trưng vi đồ-p-le, và mở rộng thử nghiệm trên nhiều cấu hình ra-đa trong các điều kiện địa hình khác nhau.

NGHIÊN CỨU SINH
(Ký và ghi rõ họ, tên)

Hà Nội, ngày tháng năm 20...
CÁN BỘ HƯỚNG DẪN
(Ký và ghi rõ họ, tên)

XÁC NHẬN CỦA CƠ SỞ ĐÀO TẠO