NGHIÊN CỨU TỔNG QUAN GIẢI PHÁP KỸ THUẬT RA ĐA TẦN SỐ CAO TẦN LAI GHÉP SÓNG TRỜI-SÓNG BỀ MẶT

Nguyễn Trung Kiên[1*], Vũ Tuấn Anh[2]

Tóm tắt: *Kỹ thuật ra đa tần số cao (ra đa HF) khai thác các đặc tính "khúc xạ" đối với sóng trời và "nhiễu xạ" đối với sóng bề mặt để chiếu xạ và phát hiện các mục tiêu ngoài đường chân trời. Ra đa HF "sóng bề mặt" khai thác đặc tính "nhiễu xạ" có ưu điểm là đặc tính truyền sóng ổn định nhưng cự li giám sát bị hạn chế, thường không vượt quá giới hạn 500 km. Ra đa HF "sóng trời" (sky-wave) sử dụng đặc tính "khúc xạ" có cự li giám sát tới 4000 km và có thể xa hơn nữa, nhưng lại "bị mù" ở vùng cự li gần. Kỹ thuật ra đa HF lai ghép "sóng trời-sóng bề mặt" là một dạng thức mới, trong đó, tuyến phát sử dụng sóng trời để chiếu xạ mục tiêu, tuyến thu khai thác đặc tính nhiễu xạ của sóng trên bề mặt biển để thu sóng phản hồi từ biển để phát hiện mục tiêu. Bài viết này giới thiệu tổng quan một số vấn đề liên quan đến kỹ thuật "Ra đa HF lai ghép sóng trời-sóng bề mặt" và khả năng ứng dụng trên thực tế.*

Từ khóa: Kỹ thuật ra đa HF; Giải pháp kỹ thuật ra đa lai ghép sóng trời - sóng bề mặt.

1. MỞ ĐẦU

Ngày nay, kỹ thuật ra đa tần số cao (HF- *High-frequency*) đang không ngừng phát triển nhằm mở rộng phạm vi giám sát, nâng cao độ tin cậy và năng lực xử lý thông tin. Với khả năng bao quát rộng lớn, các hệ thống ra đa HF có khả năng quan sát vượt đường chân trời đang được coi là một hướng phát triển mang lại hiệu quả cao trong lĩnh vực giám sát quản lý vùng trời, vùng biển.

Kỹ thuật ra đa HF truyền thống sử dụng một trong hai đặc tính truyền "sóng trời" và truyền "sóng bề mặt" để chiếu xạ và phát hiện mục tiêu ngoài đường chân trời. Ra đa HF sóng trời khai thác đặc tính "khúc xạ" để truyền sóng qua tầng điện ly; ra đa sóng bề mặt khai thác đặc tính "nhiễu xạ" để truyền sóng lan truyền bề mặt. Kỹ thuật ra đa HF lai ghép sóng trời-sóng bề mặt là giải pháp kết hợp khai thác đồng thời cả hai phương thức truyền sóng nói trên, tuyến phát sử dụng phương thức truyền sóng khúc xạ qua tầng điện ly (sóng trời) để chiếu xạ mục tiêu, tuyến thu sử dụng phương thức thu sóng phản hồi tán xạ từ mục tiêu lan truyền dọc theo bề mặt (mặt đất, mặt biển) để phát hiện mục tiêu. Giải pháp này vừa cho khả năng mở rộng phạm vi giám sát, vừa cho phép bù lấp được các nhược điểm cố hữu của các giải pháp ra đa HF truyền thống.

Trên cơ sở nghiên cứu tổng hợp thông tin từ một số bài viết chuyên đề có nội dung liên quan, bài viết này giới thiệu tổng quan về kỹ thuật "Ra đa HF lai ghép sóng trời-sóng bề mặt" và khả năng ứng dụng trên thực tế.

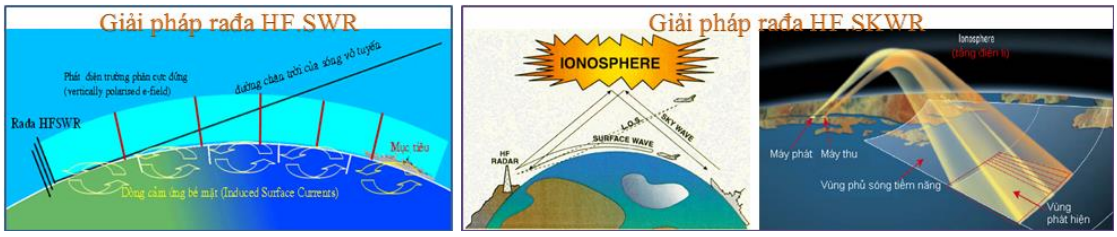
2. VÀI NÉT SƠ LƯỢC VỀ KỸ THUẬT RA ĐA HF TRUYỀN THỐNG

Các hệ thống ra đa HF khai thác đặc tính “khúc xạ” đối với sóng trời và "nhiễu xạ" đối với sóng bề mặt để chiếu xạ mục tiêu và sau đó thu sóng tán xạ từ mục tiêu phản hồi về theo môi trường truyền để phát hiện mục tiêu.

Ra đa HF sóng bề mặt HF.SWR (*HF Surface Wave Radar*) (xem hình 1a) lợi dụng đặc tính "nhiễu xạ" sóng trên bề mặt nước biển dẫn điện để truyền sóng đi xa; môi trường lan truyền sóng bề mặt là vùng giao tiếp giữa bề mặt nước biển và tầng khí quyển. Ra đa HF.SWR sử dụng mạng anten đặt gần mép nước phát đi các sóng phân cực đứng, lan truyền trên bề mặt biển hướng đến mục tiêu và thu tín hiệu tán xạ từ các mục tiêu hướng về. Ra đa HF.SWR có thể chiếu xạ các mục tiêu ở xa, vượt qua giới hạn đường chân trời và có khả năng phát hiện được mục tiêu tàng hình (stealth target). Sóng lan truyền bề mặt có đặc tính tương đối ổn định, thuận lợi cho phát hiện các tàu mặt nước di chuyển chậm trên nền nhiễu sóng biển, điều này sẽ bảo đảm độ tin cậy và hiệu quả trong giám sát mục tiêu trên biển. Hạn chế của ra đa sóng bề mặt HF.SWR là sóng

lan truyền bề mặt trong quá trình di chuyển tương tác với sóng biển bị suy hao rất mạnh nên phạm vi giám sát bị giới hạn. Các hệ thống ra đa HF.SWR có khả năng phủ sóng bao quát tới 200 hải lý, phù hợp cho mục đích giám sát, khảo sát môi trường biển trong phạm vi vùng đặc quyền kinh tế.

Ra đa HF sóng trời HF.SkWR *(HF Sky-wave Radar*) (xem hình 1b) lợi dụng đặc tính "khúc xạ" để truyền sóng qua tầng điện ly. Phương thức này sử dụng tầng điện ly như một mặt gương để phản xạ sóng và chiếu xạ vùng biển cần giám sát. Sóng trời có thể truyền đến khoảng cách trên 3.000 km với một lần tán xạ, hoặc 6.000 km với hai lần tán xạ liên tiếp giữa tầng điện ly và bề mặt đại dương. Ra đa HF.SkWR sử dụng đặc tính tán xạ hai lần được gọi là ra đa OTH tán xạ ngược (ra đa OTH-B). Tầm phủ sóng của ra đa HF.SkWR thường trong nằm phạm vi 1.000 - 4.000 km và có thể xa hơn. Phương thức truyền sóng trời cho phép tránh được thành phần nhiễu điện ly tới có phân cực "gần phân cực đứng" (*near-vertical*), đây là một yếu điểm cố hữu của ra đa sóng bề mặt. Khả năng quan sát của ra đa HF.SkWR phụ thuộc nhiều vào đặc tính hoạt động của tầng điện ly, nhất là sự mất tương quan của tín hiệu khi đi qua tầng điện ly. Điều này dẫn đến sự hạn chế khả năng phát hiện mục tiêu mặt nước có tốc độ di chuyển chậm trong điều kiện có nhiễu sóng biển, ngoài ra, do đặc tính truyền sóng vùng quan sát của ra đa HF.SkWR luôn có một vùng mù cự li gần bán kính tới 800 km. Với khả năng giám sát xa, khả năng bao quát rất rộng (800 - 3500 km), các hệ thống ra đa HF.SkWR phù hợp để trang bị cho các hệ thống cảnh giới phòng không và quan sát khí tượng.

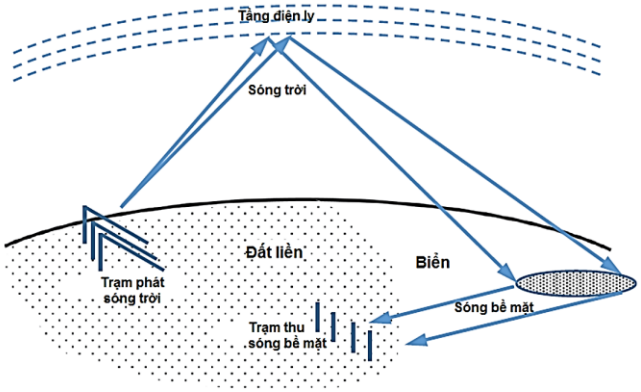


(a) *(b)*

Hình 1. *Nguyên lý phát hiện mục tiêu của kỹ thuật ra đa HF truyền thống.*

3. KỸ THUẬT RA ĐA HF LAI GHÉP SÓNG TRỜI - SÓNG BỀ MẶT

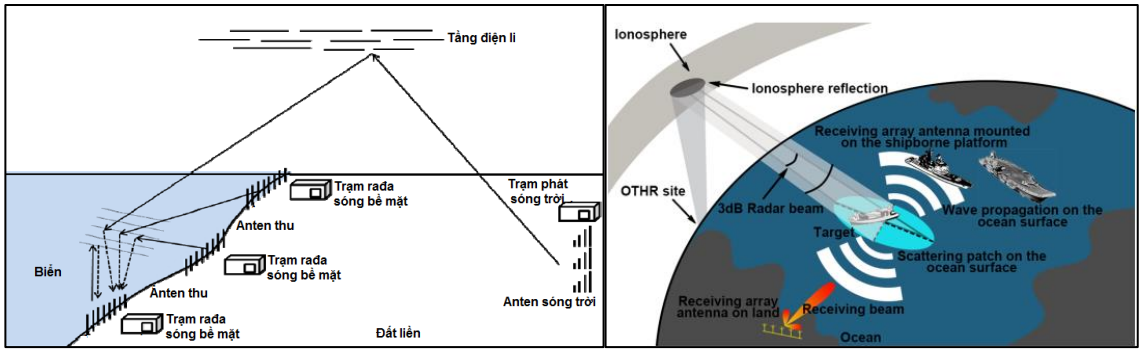
Kỹ thuật ra đa HF lai ghép sóng trời - sóng bề mặt HF.HSSWR (*HF Hybrid Sky-Surface Wave Radar*) là một dạng thức mới trong đó, kết hợp khai thác đồng thời hai phương thức truyền "sóng trời" và truyền "sóng bề mặt" để chiếu xạ và phát hiện mục tiêu. Tuyến phát sử dụng một trạm phát tín hiệu sóng trời (HF.SkW) truyền qua tầng điện ly để chiếu xạ vùng biển cần giám sát; tuyến thu, sử dụng các máy thu đặt trên bờ biển (hình 2) để thu sóng phản hồi tán xạ từ vùng biển được chiếu xạ, lan truyền theo bề mặt để phát hiện mục tiêu (mặt nước, mục tiêu bay thấp).



Hình 2. *Mô hình hệ thống HF.HSSWR đơn tuyến "2 vị trí - thụ động".*

Nhờ sự kết hợp độc đáo này, hệ thống ra đa HF.HSSWR có phạm vi giám sát rộng hơn, cự li phát hiện xa hơn và cấu trúc hệ thống cũng linh hoạt hơn so với kỹ thuật ra đa sóng bề mặt HF.SWR, nhất là đối với mạng anten thu. Các chương trình nghiên cứu, thực nghiệm được biết đến trước đây, kỹ thuật ra đa HF.HSSWR chủ yếu để phát triển các hệ thống ra đa giám sát mặt biển và trên không tầm thấp. Trạm ra đa sóng bề mặt HF.SWR trong hệ thống chỉ hoạt động trong một chế độ "hai vị trí và thụ động" (*bistatic and passive mode*), nghĩa là chỉ thu tín hiệu phản hồi từ biển của sóng trời và không phát sóng bề mặt. Phương thức này chỉ cho phép giám sát được vùng biển được chiếu xạ ở ngoài xa, trong vùng cự li mù của tín hiệu sóng trời sẽ không phát hiện được mục tiêu.

Những năm gần đây, một số dạng thức mới của kỹ thuật ra đa đã được phát triển, và thử nghiệm. Trên thực tế, cấu trúc một hệ thống ra đa HF.HSSWR có thể bao gồm: Trạm phát tín hiệu sóng trời (*HF.SkW transmitter*); trạm ra đa HF sóng bề mặt (*HF.SWR*); hệ thống giám sát môi trường; hệ thống điều khiển - xử lý tín hiệu ra đa. Trạm ra đa HF.SWR trong hệ thống sẽ thu tín hiệu các tín hiệu phản hồi từ vùng biển được chiếu xạ bởi sóng trời. Trong thời gian đó, ra đa HF.SWR cũng đồng thời phát sóng bề mặt để chiếu xạ và thu tín hiệu phản hồi về. Các ra đa HF.SWR sẽ hoạt động theo cơ chế của hệ thống "một vị trí" (*monostatic mode*) hoặc của một mạng ra đa sóng bề mặt (*HF.SWR netting mode*). So sánh với giải pháp hệ thống ra đa chỉ có một chế độ (*single mode*) hoạt động trước đây, giải pháp này có ưu điểm là khả năng phát hiện mục tiêu tốt hơn và khả năng chống nhiễu cũng hiệu quả hơn. Mặt khác, trong cấu trúc hệ thống mạng ra đa lai ghép có thể bao gồm một, hoặc nhiều (hơn một) trạm ra đa HF.SWR đặt trên bờ biển (hình 3a), hoặc đặt trên tàu cơ động trên biển (hình 3b). Khi đó, các ra đa HF.SWR có thể hoạt động theo cơ chế hệ thống "nhiều vị trí và mạng ra đa sóng bề mặt" (*multi-static and surface-wave networking mode*), nhờ đó có thể thu nhận được nhiều hơn thông tin về phổ đốp-le của tín hiệu phản hồi từ biển, đồng thời hạn chế được vùng mù cự li gần.



(a) *(b)*

Hình 3. *Nguyên lý hoạt động của hệ thống mạng ra đa lai ghép HF.HSSWR đa tuyến.*

Với hệ thống ra đa lai ghép HF.HSSWR được mô tả trên hình 3a, các tham số cấu hình và tham số hoạt động của ra đa sóng bề mặt HF.SWR và trạm phát sóng trời HF.SkW được thiết lập từ trung tâm điều khiển. Dữ liệu phản hồi từ mặt biển sẽ được tổ hợp tại trung tâm xử lý tín hiệu. Hệ thống giám sát sẽ thu thập dữ liệu môi trường trong khu vực hoạt động, phân tích sự thay đổi của môi trường điện ly, phổ tạp nhiễu môi trường, để từ đó đưa ra các yêu cầu cần thiết như: lựa chọn tần số công tác, tối ưu hóa các tham số hoạt động của hệ thống. Hệ thống này có hai chế độ hoạt động tương ứng với cơ chế hoạt động của hai hệ thống: (1) Hệ thống "lai ghép hỗn hợp sóng trời-sóng bề mặt" với sự tham gia của tuyến phát sóng trời và tuyến thu sóng bề mặt; (2) Hệ thống ra đa "sóng bề mặt" chỉ với sự tham gia của tuyến phát và tuyến thu sóng bề mặt. Cả hai hệ thống sẽ hoạt động đồng thời, sóng vô tuyến được phát đi đồng thời theo cả hai phương thức "sóng trời" và "sóng bề mặt", nhưng tuyến thu chỉ thu tín hiệu phản hồi lan truyền bề mặt (sóng bề mặt). Máy thu sóng bề mặt sẽ "phát hiện" các tín hiệu phản hồi từ vùng biển cần giám sát

được chiếu xạ đồng thời bởi tín hiệu của trạm phát "sóng trời" đặt trong đất liền và của trạm phát "sóng bề mặt" đặt trên bờ biển. Theo kết quả đánh giá được chỉ ra tại [7, 8], so sánh với hệ thống chỉ hoạt động trên một chế độ, hệ thống lai ghép hỗn hợp như mô tả trên hình 3a có khả năng phát hiện mục tiêu xa tốt hơn, nhất là trong điều kiện thời tiết không thuận lợi với các tham số "nhiễu động môi trường đại dương" luôn bị đảo lộn; khả năng chống nhiễu vô tuyến của hệ thống cũng hiệu quả hơn. Mặt khác, đặc tính của thành phần hài bậc nhất (*first-order*) của sóng phản xạ từ biển trong chế độ ra đa sóng bề mặt được thể hiện rõ ràng hơn, điều này thuận lợi để phân tích các đặc tính phức tạp của chế độ hỗn hợp sóng trời-sóng bề mặt. Ngoài ra, hệ thống giám sát môi trường sẽ cung cấp thông tin thời gian thực của tầng điện ly, cho phép tăng cường khả năng chống nhiễu vô tuyến của các trạm ra đa sóng bề mặt.

Một dạng thức khác (biến thể) của cấu trúc ra đa HF.HSSWR cũng được giới thiệu gần đây [2]. Hệ thống "Ra đa HF một vị trí kết hợp sóng trời và sóng bề mặt" - HF.CSSMR (*HF Combined Sky-wave and Surface-wave Monostatic Radar*) với các trạm thu và trạm phát đặt gần nhau ở cùng một nơi. Điểm khác biệt với cấu trúc HF.SSWR là cấu trúc HF.CSSMR khai thác đồng thời cả hai phương thức truyền "sóng trời" và "sóng bề mặt" (*ground wave*) để chiếu xạ và phát hiện mục tiêu. Theo đó, hệ thống HF.CSSMR hoạt động đồng thời trên bốn tuyến (kênh tín hiệu) riêng biệt: (1) Tuyến GG: phát sóng bề mặt - thu sóng bề mặt; (2) Tuyến GS: Phát sóng bề mặt - thu sóng trời; (3) Tuyến SG: Phát sóng trời - thu sóng bề mặt; (4) Tuyến SS: Phát sóng trời - thu sóng trời. Với cấu trúc này, kênh GG thực chất là một hệ thống ra đa sóng bề mặt, chuyên để giám sát, phát hiện mục tiêu trong phạm vi 400 km; các kênh còn lại sẽ chịu trách nhiệm quản lí giám sát các vùng biển ngoài xa nhờ đặc tính truyền lan sóng trời qua tầng điện ly. Kết quả thực nghiệm được [2] cho thấy vùng quan sát tổng hợp của hệ thống là sự xếp chồng vùng quan sát của từng chế độ hoạt động riêng biệt và phụ thuộc vào tần số hoạt động, công suất tín hiệu phát, giản đồ anten và trạng thái hoạt động của tầng điện ly. Cấu trúc HF.CSSMR có thể hoạt động tốt trong một dải tần số khá rộng 5 ÷ 10 MHz và có thể ở các tần số cao hơn. Cấu trúc này cho phép vừa mở rộng vùng phát hiện vừa bù lấp được vùng mù cự li gần; nếu so sánh với cấu trúc lai ghép HF.SSWR, cấu trúc này có giá thành tổng thể sẽ rẻ hơn và cấu trúc hệ thống linh hoạt hơn.

4. ĐÁNH GIÁ TỔNG QUAN GIẢI PHÁP RA ĐA HF.HSSWR

4.1. Một số vấn đề về kỹ thuật trong giải pháp ra đa HF.HSSWR

Hệ thống ra đa HF.HSSWR cần phải bảo đảm thu nhận đồng thời tín hiệu phản hồi từ các nguồn phát xạ khác nhau và điều khiển hoạt động đồng bộ của toàn hệ thống. Do khai thác kết hợp cả 2 phương thức truyền sóng (phát sóng trời, thu sóng bề mặt) nên thành phần nhiễu sóng biển cũng bị ảnh hưởng đồng thời bởi các thành phần phức hợp như: nhiễu pha tín hiệu qua tầng điện ly, góc hai vị trí và các tham số trạng thái biển,... Vì vậy, bài toán triệt khử nhiễu sóng biển và nhiễu điện ly sẽ phức tạp và khó để giải quyết triệt để.

Do khoảng cách giữa trạm phát sóng trời và trạm thu sóng bề mặt tương đối xa (tối thiểu 100 km) nên đường đi của sóng vô tuyến trong chế độ truyền sóng hỗn hợp sẽ dài hơn đường đi của sóng vô tuyến khi hoạt động trong chế độ chỉ truyền sóng bề mặt. Vì vậy, thời gian giữ chậm truyền sóng của chế độ này cũng dài hơn. Để bảo đảm cho cả hai dạng tín hiệu phản hồi từ mặt biển đều nằm trong băng thông của máy thu, cần phải biết được thời gian giữ chậm hoặc độ dịch tần của tín hiệu phát thăm dò sóng trời và sóng bề mặt. Để ra đa sóng bề mặt có thể thu và giải điều chế tín hiệu phản hồi từ vùng biển giám sát theo cả hai chế độ hoạt động nói trên, cần phải thực hiện việc điều khiển đồng bộ hoạt động của trạm phát sóng trời, trạm phát sóng bề mặt và các trạm thu. Để thực hiện điều này, các mô-đun GPS thường được sử dụng để "chuẩn hóa" bộ dao động ổn định cao, cung cấp thời gian và tần số chuẩn để hiệu chuẩn tần số và đồng bộ thời gian cho trạm phát sóng trời và các trạm ra đa sóng bề mặt.

Vùng giám sát của máy thu sóng bề mặt nhỏ hơn khoảng 2 bậc (100 lần) so với vùng chiếu xạ của máy phát sóng trời, vì vậy, búp sóng phát cần phải được hướng về vùng giám sát của máy thu sóng bề mặt trong một khoảng thời gian đủ dài, điều này mâu thuẫn với yêu cầu ra đa sóng trời phải quét được trên toàn bộ vùng phủ sóng của nó. Ngược lại, việc sử dụng tín hiệu sóng trời như một nguồn tín hiệu cơ hội có thể làm hạn chế đáng kể số lần tích lũy tương can của máy thu sóng bề mặt. Để khắc phục vấn đề này, cấu trúc "nhiều đầu vào - nhiều đầu ra" - MIMO sẽ được áp dụng. Theo đó, máy phát sóng trời có thể đồng thời tạo các búp sóng phát khác nhau định hình theo búp sóng thu, cho phép mỗi người dùng có thể thiết kế vùng chiếu xạ mục tiêu cho riêng mình. Các máy thu đa kênh có thể đồng thời thu tín hiệu phản xạ từ mục tiêu từ các hướng khác nhau, điều này cho phép giải quyết hiệu quả vấn đề diện tích phản xạ ra đa (RCS-Radar Cross Section) thăng giáng không ổn định, nâng cao độ tin cậy phát hiện mục tiêu và cải thiện chất lượng phát hiện mục tiêu bay tầm thấp.

4.2. Ưu và nhược điểm của giải pháp ra đa HF.HSSWR

Kỹ thuật ra đa HF.HSSWR không chỉ cho khả năng quan sát, phát hiện mục tiêu ngoài đường chân trời mà còn cho phép triển khai được các mạng anten thu linh hoạt hơn rất nhiều. Do hoạt động trong dải tần HF, với máy phát và máy thu đặt tách biệt nhau, cấu trúc ra đa HF.HSSWR sẽ vừa khai thác được các tính năng ưu việt của một hệ thống ra đa vượt đường chân trời (OTH-R) và các lợi thế của mô hình cấu trúc hệ thống ra đa hai vị trí (*bistatic radar*).

Về góc độ kỹ thuật, so với kỹ thuật ra đa HF.SWR truyền thống, kỹ thuật ra đa HF.HSSWR có các ưu điểm nổi trội như sau: Thứ nhất, cho phép nhiều hệ thống thu sóng bề mặt thu tín hiệu đồng thời mà không cần một máy phát dành riêng. Điều này phép giảm thiểu sự cố quá tải (tắc nghẽn) phổ (*spectral congestion*) tần số; thứ hai, sử dụng máy phát sóng trời phát tín hiệu điều chế tần số liên tục (FMCW-Frequency Modulled Continous Wave) công suất lớn (Mega Watt) cho phép duy trì khả năng phát hiện với mức nhiễu giới hạn ở các cự li xa với các sóng mang có tần số cao hơn so với hệ thống chỉ sử dụng ra đa sóng bề mặt, điều này cho khả năng phát hiện mục tiêu ở vùng cự li xa tốt hơn; thứ ba, cho phép tránh được thành phần nhiễu tới từ tầng điện ly có phân cực "gần-phân cực đứng", đây là yếu điểm cố hữu của hệ thống ra đa sóng bề mặt.

Về phương diện truyền sóng, máy phát bức xạ sóng qua tầng điện ly sẽ cho phép chiếu xạ được một vùng không gian rộng lớn hơn, ở cự li xa hơn; mạng anten thu đặt gần mép nước, thu tín hiệu phản hồi từ mục tiêu qua phương thức truyền lan sóng bề mặt, với đặc tính tương đối ổn định của môi trường truyền sóng bề mặt, cho phép tăng cường khả năng phát hiện mục tiêu trên mặt nước và mục tiêu bay thấp.

Về mặt chiến thuật, cấu trúc lai ghép HF.HSSWR cho khả năng phát hiện được các mục tiêu tàng hình, đối phó với tên lửa chống bức xạ ra đa, tăng cường khả năng sống còn của hệ thống ra đa. Máy phát Sky-wave đặt sâu trong đất liền, máy thu đặt trên bờ biển, gần với mép nước chỉ thu tín hiệu phản hồi, nhờ đó tránh được sự tấn công của tên lửa chống bức xạ ra đa -ARM.

Mặc dù vậy, kỹ thuật ra đa HF.HSSWR khai thác đồng thời cả hai đặc tính lan truyền "sóng trời" và "sóng bề mặt". Theo đó, sóng điện từ trong các chu trình hoạt động (phương thức hoạt động đa tuyến) vừa bị nhiễu loạn khi đi qua tầng điện li (sóng trời), vừa bị nhiễu loạn và suy hao rất mạnh (sóng bề mặt) khi tương tác với sóng biển trên đường truyền. Vì vậy, bài toán xử lý, phát hiện mục tiêu cũng sẽ trở nên phức tạp hơn. Cụ thể là:

(1) Đặc tính phổ tín hiệu phản hồi từ biển phức tạp hơn nhiều so với tín hiệu phản xạ từ tầng điện ly hoặc tín hiệu nhiễu xạ sóng bề mặt. Thành phần phổ bậc nhất của tín hiệu phản hồi từ nhiễu biển (*first order sea clutter*) sẽ bao gồm các thành phần phức hợp: đặc tính tần số, đặc tính nhiễu động theo trạng thái biển, góc lướt (tà) (*grazing angle*), góc 2 vị trí (*bistatic angle*) và điều kiện môi trường điện ly.

(2) Tầng điện ly là một môi trường phân tán (*dispersive*), có phân cấp (*hierachical*) và không

ổn định (*non-stationary*). Đặc tính bất ổn định của tầng điện ly tạo ra sự thay đổi phi tuyến tính về pha của các tín hiệu có bước sóng ngắn dẫn đến phổ của tín hiệu nhiễu tạp biển và mục tiêu bị mở rộng trong miền tần số, dẫn đến sự kéo dài không cần thiết của quá trình tích lũy tương can.

(3) Trên tuyến phát tín hiệu phát xạ sẽ bị phân bố bởi tầng điện ly; trên tuyến thu, sóng lan truyền bề mặt chịu tác động của nhiễu sóng biển và bị suy hao trên bề mặt, việc phát hiện mục tiêu sẽ phức tạp hơn. Sự mở rộng của thành phần nhiễu hài bậc nhất của tín hiệu phản hồi từ biển rất lớn trong điều kiện có tác động nhiễu pha tín hiệu qua tầng điện ly và tham số góc 2 vị trí, điều này ảnh hưởng đến khả năng phát hiện mục tiêu chuyển động chậm.

Hạn chế lớn nhất của giải pháp ra đa HF.HSSWR là kích thước ô phân biệt lớn hơn một bậc (10 lần) so với ô phân biệt của ra đa sóng bề mặt thông thường. Sự mở rộng ô phân phân biệt xảy ra do sự mất tương quan của tín hiệu phát khi đi qua môi trường plasma không đồng nhất của tầng điện ly. Điều này làm giảm khả năng phát hiện các mục tiêu có RCS nhỏ. Theo [9], RCS nhỏ nhất mà ra đa HF.HSSWR có thể phát hiện được đối với một tàu di chuyển chậm phụ thuộc vào thời gian trong ngày, hướng gió so với hướng búp sóng ra đa. Tại cự li 200 km, với tốc độ di chuyển đủ chậm RCS nhỏ nhất có thể phát hiện được thay đổi trong khoảng 18 ÷ 30 dBm2 (vào ban ngày) và 30 ÷ 42 dBm2 (vào ban đêm) với hướng gió thay đổi từ song song sang hướng vuông góc với búp sóng ra đa. Tạm coi tương đương với tàu trong tải cỡ nhỏ nhất có thể phát hiện được là 1.000 tấn (vào ban ngày) và 10.000 tấn (vào ban đêm) đối với mọi hướng gió. RCS nhỏ nhất còn thay đổi tỷ lệ với cự li và tỉ lệ nghịch với bình phương của thời gian tương quan một chiều truyền sóng điện ly (khoảng 100 giây). Trong chu kỳ lan tỏa nhiễu động tầng điện ly thời gian tương quan có thể giảm xuống còn khoảng 10 giây, tương ứng với giá trị RCS nhỏ nhất có thể phát hiện được là 20 dBm2.

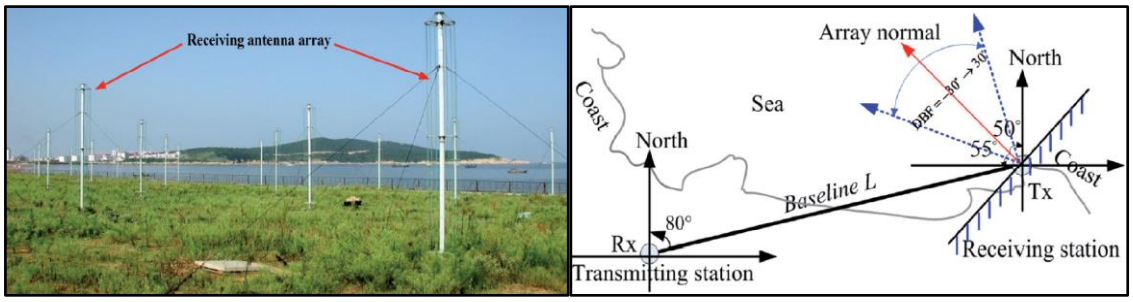
4.3. Các thành tựu và tiềm năng thực tế

Kỹ thuật ra đa HF vượt đường chân trời đã được nhiều quốc gia trên thế giới như Mỹ, Canada, Úc, Israel, Nga và Trung Quốc đầu tư phát triển cho các ứng dụng quân sự và dân sự. Đặc biệt trong những năm gần đây là cuộc chạy đua trong lĩnh vực nghiên cứu, ứng dụng giải pháp ra đa HF.HSSWR để phát triển các hệ thống ra đa quan sát vượt đường chân trời.

Năm 2016, Raytheon (Mỹ) đã được cấp bằng sáng chế cho giải pháp phát triển hệ thống ra đa giám sát biển tầm xa vượt đường chân trời. Hệ thống ra đa của Raytheon bao gồm một trạm phát tín hiệu đặt trên một tàu và một số trạm thu đặt trên các tàu khác. Trạm phát phát tín hiệu truyền qua tầng điện ly để chiếu xạ mục tiêu; Các trạm thu trên tàu thu sóng phản hồi từ các khu vực biển được chiếu xạ, sau đó chuyển tín hiệu cho trung tâm xử lý trên các tàu sân bay thông qua vệ tinh hoặc chuyển tiếp trên không. Một hệ thống như vậy có tầm phát hiện trên 1.000 km và có thể bao quát một khu vực biển có diện tích khoảng 3,4 triệu km^2.

Trung Quốc cũng là một trong số rất ít quốc gia đã nghiên cứu, phát triển thành công các hệ thống ra đa giám sát tầm xa vượt đường chân trời mang lại hiệu quả cao. Các Trung tâm nghiên cứu thuộc Đại học Vũ Hán (*Wuhan University*), Học viện Công nghệ Cáp-nhĩ-tân HIT (*Harbin Institute of Technology*) của Trung Quốc đã triển khai các dự án nghiên cứu và công bố rất nhiều báo cáo khoa học liên quan đến giải pháp kỹ thuật ra đa HF.HSSWR. Hệ thống thử nghiệm của Đại học Vũ Hán hoạt động trong dải tần 6 ÷ 13.5 MHz với trạm phát tín hiệu sóng trời (FMCW) đặt tại Long Hải - Phúc Kiến; trạm ra đa sóng bề mặt đặt tại Sùng Dương-Hồ Bắc (cách xa khoảng 700 km). Hệ thống thử nghiệm của Học viện HIT (hình 4) sử dụng tín hiệu LFMCW, trên các tần số 5, 10, 15 MHz, trạm phát đặt cách trạm thu khoảng 800 km.

Năm 2019, ông Liu Yongtan (1936) - nhà khoa học quân sự, chuyên gia hàng đầu của Trung Quốc trong lĩnh vực ra đa, đồng thời là trưởng nhóm nghiên cứu phát triển kỹ thuật ra đa HF của Học viện HIT, đã được trao giải thưởng KH-CN xuất sắc quốc gia Trung Quốc năm 2018 vì những đóng góp của ông đối với nhiệm vụ này.



(a) *(b)*

Hình 4. *Khu vực triển khai anten thu (a) và Mô hình thử nghiệm HF.HSSWR của Viện HIT (b).*

Chiến lược phát triển kỹ thuật ra đa HF vượt đường chân trời của Trung Quốc hiện nay nhằm mục tiêu phát triển các hệ thống ra đa tầm xa có thể cơ động linh hoạt để trang bị trên các đảo nổi xa bờ, tàu trinh sát cơ động và các biên đội tàu sân bay để tăng cường năng lực thu thập thông tin tình báo của hải quân Trung Quốc trên những vùng biển quan trọng. Tuy nhiên, đối với các hệ thống cơ động, vẫn còn nhiều vấn đề nhiều thách thức đặt ra cần phải giải quyết như lựa chọn tần số hoạt động, khử nhiễu phân cực, định hướng búp sóng phù hợp với khoảng cách đến mục tiêu và điều kiện của tầng điện ly và các kỹ thuật phức tạp để bù khử tham số chuyển động khi di chuyển trên biển. Theo đánh giá [10], các hệ thống ra đa cảnh giới của Trung Quốc trên các khu vực biển hiện nay có khả năng bao quát giám sát được hầu hết các khu vực biển quan trọng trên Biển Đông, Ấn Độ Dương và Tây Thái Bình Dương.

5. KẾT LUẬN

Kỹ thuật ra đa HF nói chung ngày càng đóng vai trò quan trọng trong các hệ thống cảnh giới phòng thủ quân sự. Giải pháp kỹ thuật ra đa HF.HSSWR là sự kết hợp độc đáo của kỹ thuật ra đa HF sóng trời và ra đa HF sóng bề mặt. Kỹ thuật ra đa HF.HSSWR cho phép phát huy được các ưu điểm của mỗi giải pháp và bù khuyết được các hạn chế cố hữu trong từng giải pháp đơn lẻ. So với kỹ thuật ra đa HF thông thường, kỹ thuật này cho phép mở rộng phạm vi cảnh giới, cảnh báo sớm, tăng cường khả năng phát hiện mục tiêu bay thấp, mục tiêu tàng hình và khả năng phòng tránh tên lửa chống bức xạ vô tuyến, bảo đảm khả năng sống còn của hệ thống.

Trên cơ sở nghiên cứu, tổng hợp thông tin từ các bài viết chuyên đề, các báo cáo khoa học được công bố những năm gần đây liên quan đến kỹ thuật ra đa HF.HSSWR. Tác giả bài báo mong muốn đưa ra cái nhìn tổng quan về bức tranh phát triển chung đối với lĩnh vực ra đa giám sát biển tầm xa và mong muốn các nhà khoa học, các trung tâm nghiên cứu trong và ngoài quân đội đối sẽ giành sự quan tâm hơn đối với lĩnh vực này. Hy vọng rằng, trong tương lai gần chúng ta cũng sẽ phát triển được các hệ thống trinh sát - cảnh giới có đủ khả năng giám sát, quản lý toàn bộ vùng trời, vùng biển trong phạm vi chủ quyền lãnh thổ, vùng đặc quyền kinh tế của tổ quốc và có thể vươn xa hơn nữa.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. Zhuo-qun Wang, Ya-jun Li, Jun-nan Shi, Peng-fei Wang, Ai-hua Liu, Xin-fan Xia, De-hong Chen, *"Spread Sea Clutter Suppression in HF Hybrid Sky-Surface Wave Radars Based on General Parameterized Time-Frequency Analysis",* International Journal, Volume 2020, Article ID 7627521, 12 pages (Hindawi 2020).

[2]. Mengxiao Zhao, Xin Zhang, Qiang Yang, Jiazhi Zhang, *"Coverage Area Analysis of Combined Sky-Wave and Surface-Wave Monostatic High Frequency Radar",* IEE-Tech, HI-Tech, Harbin 150001, China (IEEE Access 2019).

[3]. Ling Zhang, Wei You, Q. M. Jonathan Wu, Shengbo Qi, Yonggang Ji, *"Deep Learning-Based Automatic Clutter/Interference Detection for HFSWR"*, Remote Sens 2018, 10, 1517 (2018).

[4]. Mengxiao Zhao, Xin Zhang, Qiang Yang, and Weibo Deng, *"Using Sky-Wave Echoes Information to*

Extend HFSWR's Maximum Detection Range", American Geophysical Union (AGU 2018).
[5]. Yajun Li, Yinsheng Wei, Yongpeng Zhu, Zhuoqun Wang, Rongqing Xu, *"Cascaded method for ionospheric decontamination and sea clutter suppression for high-frequency hybrid sky-surface wave radar",* School of EIE, Harbin Institute of Technology, China (2015).
[6]. Zhang Lan, Wu Xiongbin, Liu Jianfei, Li Zhengyong, Chen Xiaofeng, "*A study on Hybrid Networking System for Distributed HF.OTH Radars",* Wuhan University, School of Electronic Information, China (Hindawi 2014).
[7]. Yongpeng ZHU, Yinsheng WEI, Yajun LI, "*First Order Sea Clutter Cross Section for HF Hybrid Sky-Surface Wave Radar",* School of EIE, Harbin Institute of Technology, China (2013);
[8]. J. O. Hinz and U. Z¨olzer**,** *"A MIMO FMCW radar approach to HFSWR",* University of the Federal Armed Forces - Germany (Adv. Radio. Sci 2011).
[9]. R. J. Riddolls, "*Ship Detection Performance of a High Frequency Hybrid Sky-Surface Wave Radar",* DRDC Ottawa TM 2007-327 - Defence R&D Canada - Ottawa (2007);
[10]. Jane's by IHS markit, *"China integrates long-range surveillance capabilities",* IHS (2017);

ABSTRACT

AN OVERVIEW OF THE SOLUTION FOR
HIGH FREQUENCY HYBRID SKY-SURFACE WAVE RADAR TECHNIQUE

The high frequency radar (HF radar) technique exploits properties of refractive for sky-wave and diffractive for surface-wave to illuminate and detect targets beyond the horizon. Surface-wave HF radar exploiting the diffraction have the advantage of stable wave propagation, but the detection range is limited to about 500 km. Sky-wave HF radar using the refractive have long range detection up to 4000 km and further possibilities, but having close-range blind areas. HF hybrid sky-surface wave radar is a new type of HF radar technique. The transmitting path uses sky-wave to illuminate targets, and the receiving path exploits the diffraction of waves over the ocean surface to receive the sea echo to detect targets. In this paper, some descriptions of HF hybrid sky-surface wave radar technique and applicability in the practice of this are introduced.

Keywords: HF radar technique; Solution of the HF hybrid sky-surface wave radar technique.

Nhận bài ngày 30 tháng 6 năm 2021
Hoàn thiện ngày 30 tháng 7 năm 2021
Chấp nhận đăng ngày 02 tháng 8 năm 2021

Địa chỉ: [1]Phòng Ra đa - Bộ Tham mưu - Quân chủng Hải quân;
[2]Viện Ra đa, Viện Khoa học và Công nghệ quân sự.
*Email: staffoffnavy@gmail.com.