

NGHIÊN CỨU BÀI TOÁN PHÁT HIỆN MỤC TIÊU CỦA HỆ THỐNG RAĐA THỤ ĐỘNG DÙNG NĂNG LƯỢNG SÓNG TRUYỀN HÌNH SỐ MẶT ĐẤT

STUDY ON TARGET DETECTION PROBLEM OF PASSIVE RADAR SYSTEMS USING DVB-T ILLUMINATORS OF OPPORTUNITY

Nguyễn Mạnh Cường¹, Nguyễn Thanh Hưng¹, Vũ Đăng Chiến¹
Phùng Ngọc Anh², Lê Duy Đức², Nguyễn Thanh Chính³

¹Học viện Kỹ thuật quân sự, ²Học viện Phòng không - Không quân, ³Viện Kỹ thuật hải quân

Ngày nhận bài: 26/10/2020, Ngày chấp nhận đăng: 28/12/2020, Phản biện: TS. Vũ Chí Thanh

Tóm tắt:

Bài báo trình bày các kết quả nghiên cứu khảo sát các chỉ tiêu chất lượng phát hiện của hệ thống radar thụ động dùng năng lượng sóng truyền hình số mặt đất DVB-T (Digital Video Broadcasting – Terrestrial) với mô hình mục tiêu Swerling 5 đứng yên và mô hình nhiễu cộng tính, độc lập thống kê theo các phân bố khác nhau. Trong đó, quá trình mô phỏng được thực hiện trên phần mềm MatLab bao gồm tạo tín hiệu DVB-T và nhiễu theo các phân bố cho trước, xử lý tương quan chéo, phát hiện CFAR (Constant false alarm rate), khảo sát với số lượng phép thử lớn để đưa ra đặc tuyến phát hiện theo tỷ số tín/nhiễu ở lối vào bộ xử lý tương quan chéo.

Từ khóa:

radar thụ động, truyền hình số mặt đất (DVB-T), xác suất phát hiện đúng, xác suất báo động lầm, xử lý tương quan chéo, phát hiện ổn định xác suất báo động lầm (CFAR).

Abstract:

This paper presents investigation results on detection performance of passive radar systems using DVB-T (Digital Video Broadcasting – Terrestrial) illuminators of opportunity with the SW5 stationary target model and statistically independent additive clutter model with different distributions. The investigation was performed by simulations on MatLab software, including the generating process of DVB-T signal and clutter with given distributions, cross-correlation processing, CFAR (Constant false alarm rate) detection, with a large number of trials to derive the detection probability curves as a function of signal/clutter ratio at the cross-correlation processor's entrance.

Keywords:

passive radar, Digital Video Broadcasting – Terrestrial (DVB-T), detection probability, false alarm probability, cross-correlation processing, constant false alarm rate (CFAR) detection.

1. MỞ ĐẦU

Hiện nay, việc nghiên cứu và ứng dụng

các hệ thống radar thụ động dùng các bức xạ sẵn có trong không gian quan sát (như

sóng phát thanh [1],[4]-[8], truyền hình [1],[4]-[8], truyền thông di động [4]-[7], tín hiệu vệ tinh [3], sóng WIFI [4],...) đang rất được quan tâm. Tại Việt Nam, các trạm phát sóng truyền hình số mặt đất (DVB-T: Digital Video Broadcasting - Terrestrial) đã được triển khai trên diện rộng. Hệ thống radar thụ động dùng năng lượng sóng DVB-T hoạt động dựa trên cơ sở thu nhận năng lượng phản xạ từ mục tiêu dưới sự chiếu xạ của các trạm phát DVB-T trong không gian quan sát.

Hệ thống này có thể xác định được hướng từ vị trí thu đến mục tiêu khi anten thu có búp sóng hẹp. Đồng thời, tại vị trí thu có thể tiến hành tính hàm tương quan chéo giữa tín hiệu phản xạ từ mục tiêu và tín hiệu chiếu xạ trực tiếp từ nguồn bức xạ. Vị trí cực đại của hàm tương quan chéo cho phép xác định hiệu cự ly truyền tín hiệu phản xạ và tín hiệu chiếu xạ trực tiếp. Như vậy, với một số vị trí thu, tọa độ mục tiêu sẽ được xác định.

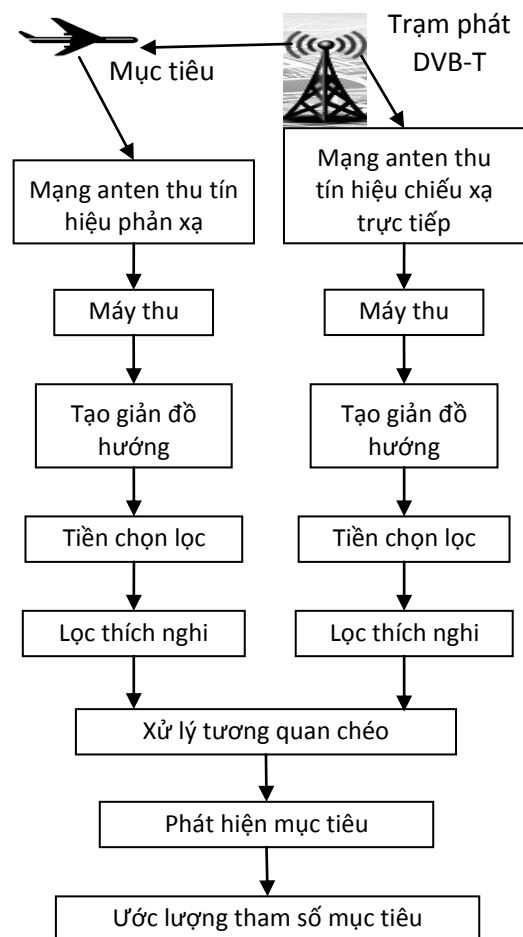
Sơ đồ chức năng đơn giản của hệ thống radar thụ động dùng năng lượng sóng truyền hình số mặt đất (DVB-T) [1][8] được thể hiện trên hình 1.

Hệ thống radar thụ động dùng năng lượng sóng truyền hình số mặt đất DVB-T làm việc với các dạng tín hiệu rất phức tạp, không biết trước.

Mặt khác, khi thu tín hiệu phản xạ yếu, luôn tồn tại tín hiệu chiếu xạ trực tiếp rất mạnh. Từ đó đòi hỏi máy thu của hệ thống radar thụ động cần phải có hệ số tạp âm thấp, dải động lớn. Các máy thu này thường là các máy thu số với tín hiệu đầu ra đã được số hóa để đưa tới các khâu xử

lý tiếp theo.

Một khó khăn cơ bản trong các hệ thống radar này là tín hiệu chiếu xạ trực tiếp rất lớn và liên tục. Điều này được khắc phục nhờ thực hiện lọc thích nghi. Đây cũng là khâu xử lý có tính chất quyết định nhằm bảo đảm các bước bên của tín hiệu chiếu xạ trực tiếp không che lấp bước chính của tín hiệu phản xạ tại khâu xử lý tương quan chéo tiếp sau đó.



Hình 1. Hệ thống radar thụ động dùng năng lượng sóng truyền hình số mặt đất

Bước xử lý then chốt trong hệ thống radar thụ động là xử lý tương quan chéo. Nó vừa đóng vai trò là một bộ lọc phối hợp, đồng thời nó còn cung cấp các ước lượng

cự ly bistatic. Các tín hiệu truyền thông nói chung là các tín hiệu ngẫu nhiên, có các đặc trưng gần giống với tạp âm, do đó các tín hiệu này có khuynh hướng chỉ tương quan với bản thân nó. Khi đó, tín hiệu phản xạ sẽ tương quan với tín hiệu chiếu xạ trực tiếp với khoảng giữ chậm tương ứng.

Tập trung vào bài toán phát hiện của hệ thống radar thụ động dùng năng lượng sóng DVB-T, chúng tôi hướng đến nghiên cứu mô phỏng trên các khâu xử lý tương quan chéo và phát hiện mục tiêu.

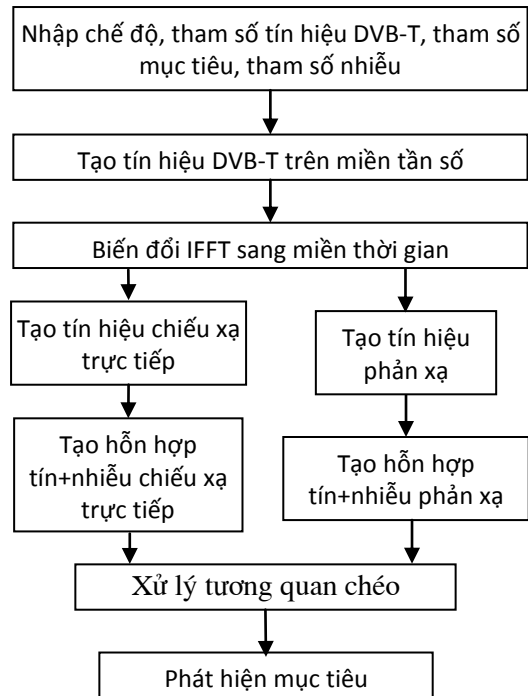
2. KHẢO SÁT ĐẶC TUYÊN PHÁT HIỆN

Để khảo sát đặc tuyến phát hiện của hệ thống theo mô hình đề xuất, chúng tôi thực hiện mô phỏng, tính toán trên phần mềm MATLAB. Tín hiệu được tạo giả và xử lý trên hai kênh: kênh chiếu xạ trực tiếp và kênh phản xạ. Kết quả phép tương quan chéo của hai kênh này được đưa đến bộ phát hiện (hình 2).

Tại một vị trí thu, chúng tôi khảo sát các chỉ tiêu chất lượng phát hiện trong mỗi chu kỳ xử lý tương quan. Hỗn hợp tín hiệu kênh chiếu xạ trực tiếp bao gồm tín hiệu DVB-T truyền thẳng từ trạm phát đến vị trí thu cộng với nhiễu. Hỗn hợp tín hiệu kênh phản xạ bao gồm tín hiệu DVB-T phản xạ từ mục tiêu về vị trí thu cộng với nhiễu. Dữ liệu trên hai kênh được đưa vào tính tương quan chéo và thực hiện phát hiện theo CFAR.

Do hàm bất định của cấu trúc tín hiệu DVB-T vẫn còn một số đỉnh không mong muốn (do các TPS, pilot, và khoảng bảo vệ gây ra). Để khắc phục, cần loại bỏ ảnh

hưởng các TPS, các pilot trên miền tần số, và các khoảng bảo vệ trên miền thời gian trong tín hiệu thu được, rồi mới đưa vào xử lý tương quan.



Hình 2. Lưu đồ tính toán, khảo sát đặc tuyến phát hiện

Quá trình mô phỏng thực hiện trên phần mềm MatLab, với các tham số:

- Mô hình mục tiêu điểm SW5 không thăng giáng, không chuyển động;
- Tín hiệu có ích: cấu trúc DVB-T [2] (chế độ 2K, khoảng symbol hữu ích: $T_U = 224 \mu s$, khoảng bảo vệ: $\Delta/T_U = 1/32 = 7 \mu s$, dải tần sử dụng: 7.61 MHz, phương thức điều chế: 64 QAM, $\alpha = 1$).
- Kênh chiếu xạ trực tiếp bao gồm thành phần chiếu xạ trực tiếp DVB-T và nhiễu với tỷ số tín/nhiều: 20 dB; xét nhiễu không tương quan có phân bố Gauss.
- Kênh phản xạ bao gồm thành phần phản xạ DVB-T từ mục tiêu và nhiễu; tỷ

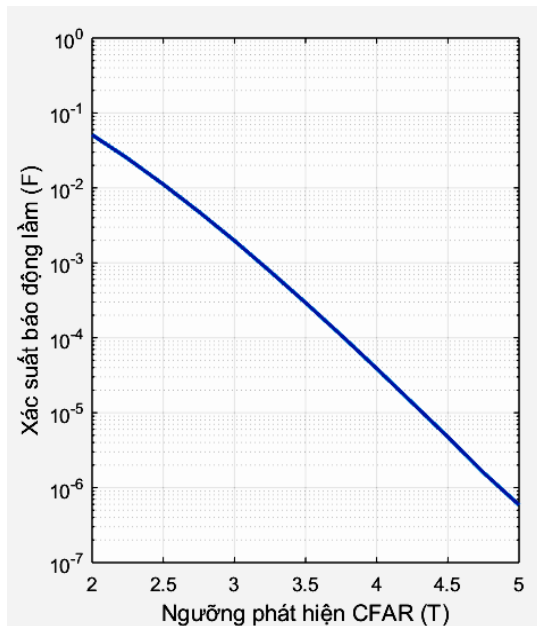
số tín/nhiều: $-38 \div -16$ dB; xét nhiễu không tương quan có phân bố: Gauss, Weibull.

- Bộ phát hiện: CA-CFAR [9], số ô tham khảo: 24; số ô cách ly: 2.
- Khoảng thời gian tính tương quan chéo: $T_{tq} = 1 \div 4$ Symbol.

3. KẾT QUẢ TÍNH TOÁN MÔ PHỎNG

3.1. Khảo sát đặc tuyến phát hiện của hệ thống trên nền nhiễu phân bố Gauss

Kết quả khảo sát xác suất báo động lầm (XSBĐL) của hệ thống thể hiện trên hình 3.



Hình 3. Sự phụ thuộc của XSBĐL theo ngưỡng trên nền nhiễu phân bố Gauss

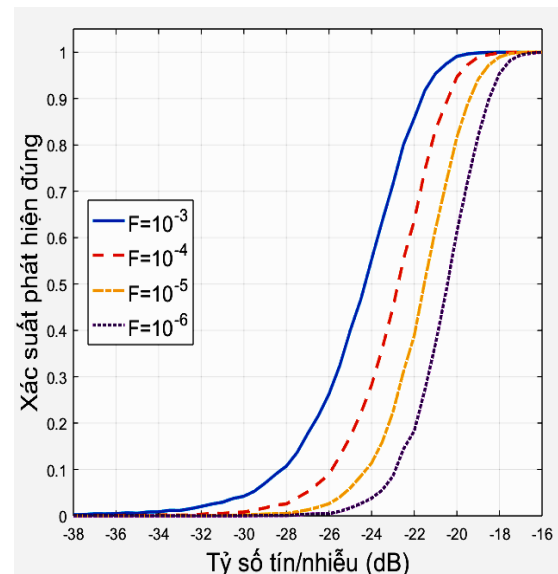
Từ kết quả khảo sát, xác định được ngưỡng T cần đặt cho bộ phát hiện CFAR với các XSBĐL cho trước, làm cơ sở để khảo sát xác suất phát hiện đúng (XSPHĐ):

Bảng 1. Ngưỡng phát hiện CFAR

Xác suất báo động lầm (F)	Ngưỡng phát hiện CFAR (T)
10^{-3}	3.180965
10^{-4}	3.769227
10^{-5}	4.322348
10^{-6}	4.866287

Để khảo sát XSPHĐ của hệ thống, cần tiến hành mô phỏng theo lưu đồ hình 2, với điều kiện trên kênh phản xạ là tổng hợp của thành phần tín hiệu có ích và thành phần nhiễu theo tỷ số tín/nhiều (xét tại lối vào bộ xử lý tương quan chéo) với các dạng nhiễu có phân bố điển hình.

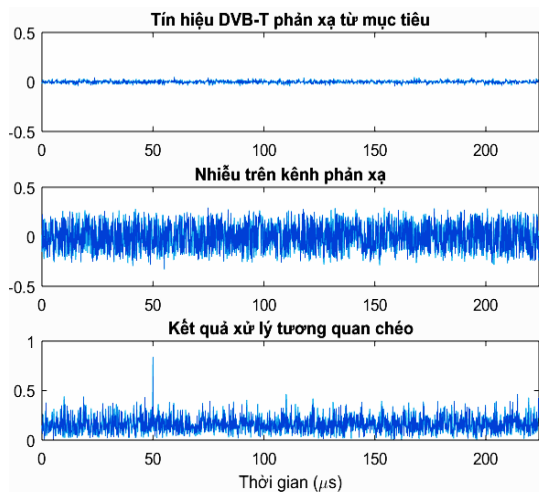
Trên hình 4 thể hiện sự phụ thuộc của XSPHĐ theo tỷ số tín/nhiều với nhiễu có phân bố Gauss, thời gian tính tương quan chéo: $T_{tq} = 1$ Symbol = 224 μ s.



Hình 4. Đặc tuyến phát hiện tín hiệu DVB-T trên nền nhiễu phân bố Gauss, $T_{tq} = 1$ Symbol

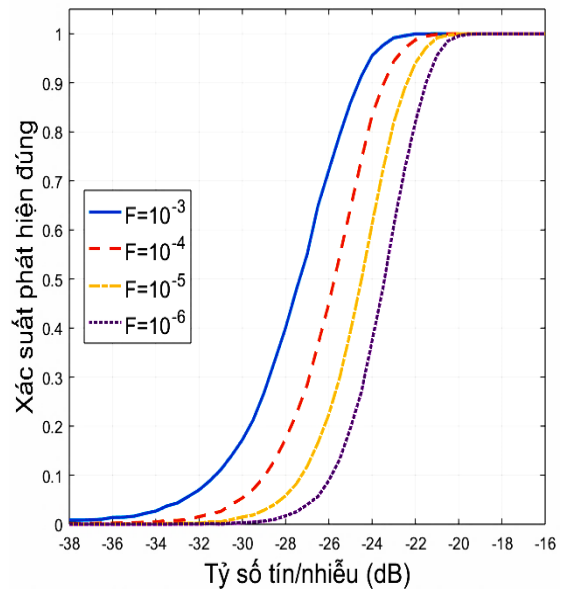
Từ đặc tuyến cho thấy, các chỉ tiêu chất phát hiện được đảm bảo chỉ với yêu cầu

rất thấp đối với tỷ số tín/nhiều ở lối vào bộ xử lý tương quan chéo. Với xác suất báo động lầm: $F = 10^{-6}$, xác suất phát hiện đúng: $D = 0.7$, thì tỷ số tín/nhiều yêu cầu chỉ ở mức: -19.6 dB. Điều này có được là do bộ xử lý tương quan chéo có vai trò là bộ lọc phối hợp (với cấu trúc tín hiệu DVB-T), tỷ số tín/nhiều sau bộ lọc được tăng lên mức cực đại. Tín hiệu DVB-T có độ rộng phổ lớn (7.61 MHz) và liên tục theo thời gian, nên kết quả sau tương quan chéo có hệ số nén cao. Hình 5 là kết quả xử lý tương quan chéo với tỷ số tín/nhiều ở lối vào chỉ ở mức -20 dB, nhưng ở lối ra mục tiêu xuất hiện ở vị trí $50 \mu s$ (tương ứng với cự ly mục tiêu giả lập) với biên độ nổi trội.

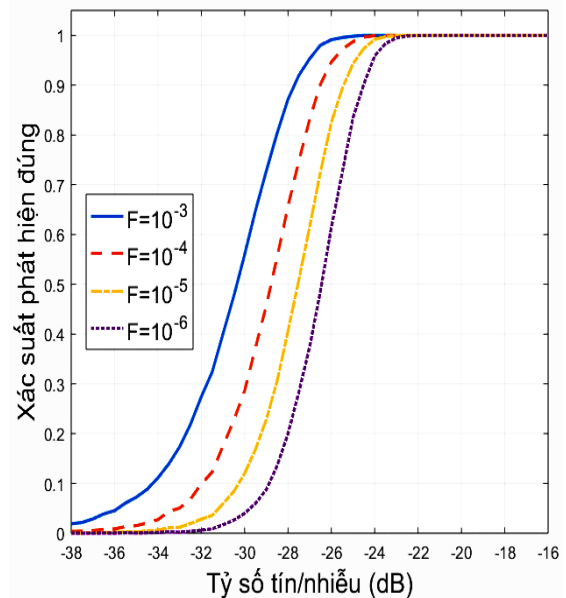


Hình 5. Kết quả xử lý tương quan chéo với tỷ số tín/nhiều ở mức -20 dB, $T_{tq} = 1$ Symbol

Khảo sát đặc tuyến phát hiện khi tăng thời gian tính tương quan chéo T_{tq} , kết quả thể hiện ở hình 6 và hình 7. Kết quả khảo sát cho thấy chất lượng phát hiện của hệ thống tăng nhanh khi tăng thời gian tính tương quan chéo T_{tq} .



Hình 6. Đặc tuyến phát hiện tín hiệu DVB-T trên nền nhiễu phân bố Gauss, $T_{tq} = 2$ Symbol



Hình 7. Đặc tuyến phát hiện tín hiệu DVB-T trên nền nhiễu phân bố Gauss, $T_{tq} = 4$ Symbol

Xét tại tỷ số tín/nhiều ở mức -24 dB; xác suất báo động lầm $F = 10^{-6}$; ta có sự phụ thuộc của xác suất phát hiện đúng (D) theo thời gian tính tương quan chéo (T_{tq}) thể hiện trên bảng 2.

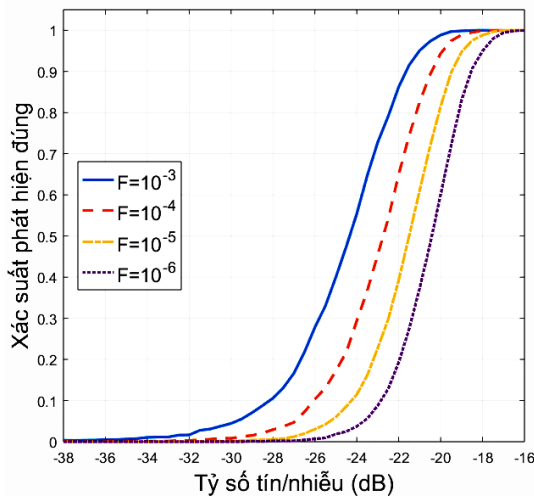
Bảng 2. Khảo sát XSPHĐ theo thời gian tích phân tương quan chéo

Ttq	1 Symbol	2 Symbol	4 Symbol
D	0.038	0.374	0.959

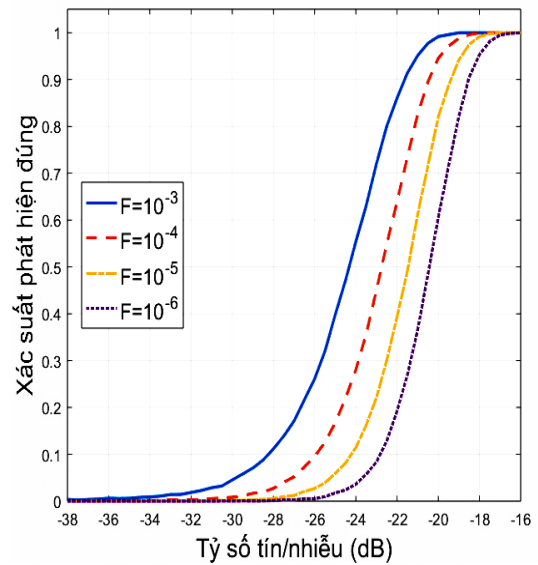
3.2. Khảo sát đặc tuyến phát hiện của hệ thống trên nền nhiễu phân bố Weibull

Khảo sát với mô hình nhiễu phân bố Weibull với thời gian tích tương quan chéo $T_{tq} = 1$ Sym, thu được kết quả tương tự với nhiễu phân bố Gauss (hình 8, hình 9).

Nguyên nhân chính là sự biến đổi phân bố nhiễu qua khâu xử lý tương quan chéo. Phép tương quan chéo thực hiện nhân nhiễu (có phân bố bất kỳ) với tín hiệu DVB-T, và cộng lại giữa các ô cự ly trong thời gian tích tương quan. Khi số lượng các ô cự ly đủ lớn, phân bố của nhiễu ở lối ra tiệm cận dần đến phân bố Gauss.



Hình 8. Đặc tuyến phát hiện tín hiệu DVB-T trên nền nhiễu phân bố Weibull $k=1$, $T_{tq} = 1$ Symbol



Hình 9. Đặc tuyến phát hiện tín hiệu DVB-T trên nền nhiễu phân bố Weibull $k=5$, $T_{tq} = 1$ Symbol

4. KẾT LUẬN

Kết quả khảo sát cho thấy đối với hệ thống radar thụ động dùng năng lượng sóng truyền hình số mặt đất DBV-T, để đảm bảo các chỉ tiêu chất lượng phát hiện, chỉ cần yêu cầu rất thấp đối với tỷ số tín/nhiều ở lối vào bộ xử lý tương quan chéo.

Khảo sát với các dạng phân bố khác nhau của nhiễu tại lối vào bộ xử lý tích phân tương quan cho thấy các chỉ tiêu chất lượng phát hiện của hệ thống không phụ thuộc đáng kể vào dạng phân bố. Điều này là do sau bộ xử lý tích phân tương quan, phân bố của nhiễu tiệm cận dần đến phân bố chuẩn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Del-Rey-Maestre, N.; Mata-Moya, D.; Jarabo-Amores, M.-P.; Gómez-del-Hoyo, P.-J.; Bárcena-Humanes, J.-L.; Rosado-Sanz, J. "Passive Radar Array Processing with Non-Uniform Linear Arrays for Ground Target's Detection and Localization". *Remote Sens.* 2017.

- [2] European Telecommunications Standards Institute; European Broadcasting Union. "Digital Video Broadcasting (DVB) - Framing structure, channel coding and modulation for digital terrestrial television", 2015.
- [3] Fabrizio Santi; Federica Pieralice; Debora Pastina. "Multistatic GNSS-based passive radar for maritime surveillance with long integration times: Experimental results", 2018 IEEE Radar Conference (RadarConf18), USA, 2018.
- [4] H. Kuschel. "Approaching 80 years of passive radar", 2013 International Conference on Radar, Australia, 2013.
- [5] Marek Płotka; Mateusz Malanowski; Piotr Samczyński; Krzysztof Kulpa; Karol Abratkiewicz. "Passive Bistatic Radar Based on VHF DVB-T Signal", 2020 IEEE International Radar Conference (RADAR), USA, 2020.
- [6] Osama Mahfoudia; François Horlin; Xavier Neyt. "Pilot-based detection for DVB-T passive coherent location radars", IET Radar, Sonar & Navigation, Volume: 14, Issue: 6, 6-2020.
- [7] Pedro Gomez-del-Hoyo; María-Pilar Jarabo-Amores; David Mata-Moya; Nerea Del-Rey-Maestre; Manuel Rosa-Zurera. "DVB-T receiver independent of channel allocation, with frequency offset compensation for improving resolution in low cost passive radar", IEEE Sensors Journal, 2020.
- [8] Tatiana Martelli; Fabiola Colone; Enrico Tili; Annarita Di Lallo "Maritime surveillance via multi-frequency DVB-T based passive radar", 2017 IEEE Radar Conference (RadarConf), USA, 2017.
- [9] Vladimir G. Galushko. "Analysis of the CA CFAR algorithm as applied to detection of stationary Gaussian signals against a normal noise background", 2016 9th International Kharkiv Symposium on Physics and Engineering of Microwaves, Millimeter and Submillimeter Waves (MSMW), Ukraine, 2016.

Giới thiệu tác giả:



Tác giả Nguyễn Mạnh Cường tốt nghiệp đại học chuyên ngành radar năm 1986; nhận bằng Thạc sĩ chuyên ngành kỹ thuật tự động hóa và điều khiển từ xa năm 1998, bằng Tiến sĩ chuyên ngành radar - dẫn đường năm 2007 tại Học viện Kỹ thuật quân sự. Tác giả hiện là chủ nhiệm Bộ môn Radar – Khoa Vô tuyến điện tử – Học viện Kỹ thuật quân sự.

Lĩnh vực nghiên cứu: radar nhiều vị trí, radar thụ động, MIMO radar; hệ thống nhận biết chủ quyền quốc gia; xử lý tín hiệu, nhận dạng mục tiêu radar, xử lý ảnh, thiết bị đầu cuối; thủy âm, các hệ thống vũ khí dưới nước...



Tác giả Nguyễn Thanh Hưng tốt nghiệp đại học chuyên ngành radar năm 1992; nhận bằng Thạc sĩ chuyên ngành kỹ thuật tự động hóa và điều khiển từ xa năm 1997 tại Học viện Kỹ thuật quân sự, bằng Tiến sĩ chuyên ngành radar năm 2005 tại Đại học Hàng không Matxcơva. Tác giả hiện là giảng viên Bộ môn Radar – Khoa Vô tuyến điện tử – Học viện Kỹ thuật quân sự.

Lĩnh vực nghiên cứu: radar nhiều vị trí, radar thụ động; hệ thống nhận biết chủ quyền quốc gia; xử lý tín hiệu, nhận dạng mục tiêu radar, xử lý ảnh, thiết bị đầu cuối; thủy âm, các hệ thống vũ khí dưới nước...



Tác giả Vũ Đăng Chiến tốt nghiệp đại học chuyên ngành radar năm 2003, nhận bằng Thạc sĩ chuyên ngành radar – dẫn đường năm 2006 tại Học viện Kỹ thuật quân sự. Tác giả hiện là giảng viên Bộ môn Radar – Khoa Vô tuyến điện tử – Học viện Kỹ thuật quân sự.

Lĩnh vực nghiên cứu: radar nhiều vị trí, radar thụ động; hệ thống nhận biết chủ quyền quốc gia; xử lý tín hiệu, nhận dạng mục tiêu radar, xử lý ảnh, thiết bị đầu cuối; thủy âm, các hệ thống vũ khí dưới nước...



Tác giả Phùng Ngọc Anh tốt nghiệp đại học chuyên ngành vô tuyến điện tử và thông tin liên lạc năm 1998; nhận bằng Thạc sĩ chuyên ngành radar – dẫn đường năm 2003, bằng Tiến sĩ chuyên ngành radar – dẫn đường năm 2018 tại Học viện Kỹ thuật quân sự. Tác giả hiện đang công tác tại Khoa Radar – Học viện Phòng không – Không quân.

Lĩnh vực nghiên cứu: ảnh hưởng của biển Việt Nam đến khả năng phát hiện mục tiêu của radar biển, các mô hình thống kê của nhiễu biển, phát hiện mục tiêu trên biển với việc ổn định xác suất báo động lầm, mô phỏng khả năng phát hiện mục tiêu với các mô hình thống kê của nhiễu...

