



(12) BẢN MÔ TẢ SÁNG CHẾ THUỘC BẰNG ĐỘC QUYỀN SÁNG CHẾ

(19) Cộng hòa xã hội chủ nghĩa Việt Nam (VN)
CỤC SỞ HỮU TRÍ TUỆ

(11)



1-0028435

(51)⁷ G01S 17/00

(13) B

(21) 1-2017-00524

(22) 15/02/2017

(45) 25/05/2021 398

(43) 27/08/2018 365A

(73) Tập đoàn Viễn thông Quân Đội (VN)

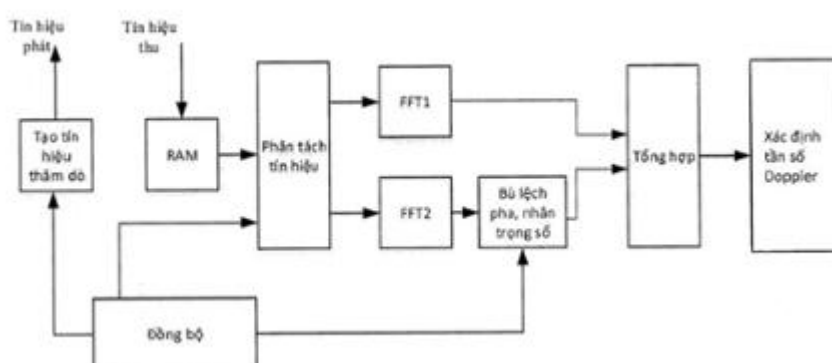
Số 1 đường Trần Hữu Dực, phường Mỹ Đình 2, quận Nam Từ Liêm, thành phố Hà Nội

(72) Nguyễn Như Thành (VN); Trần Vũ Hợp (VN); Đồng Xuân Hoàng (VN).

(74) Công ty TNHH Tư vấn Quốc Dân (NACI CO., LTD)

(54) HỆ THỐNG VÀ PHƯƠNG PHÁP XỬ LÝ TƯƠNG CAN CHÙM XUNG CÓ CHU KỲ LẶP BIẾN ĐỔI

(57) Sáng chế đề cập đến hệ thống và phương pháp xử lý tương can chùm xung có chu kỳ lặp biến đổi để mở rộng vùng xác định tần số Doppler của mục tiêu. Đảm bảo xử lý Doppler đối với các mục tiêu chuyển động nhanh và hệ thống ra đa có tần số hoạt động cao lên tới hàng chục GHz. Với giải pháp này hệ thống ra đa đảm bảo: tăng được vận tốc mù, xác định chính xác thông tin tần số Doppler của mục tiêu, tăng độ lợi về tỉ số tín hiệu trên tạp âm. Khi sử dụng thay đổi chu kỳ lặp qua các chu kỳ làm mất tính tương can của chùm xung trả về, để sử dụng được tích lũy tương can sáng chế sử dụng kỹ thuật bù thời gian trễ giữa 2 chu kỳ đưa tín hiệu chùm xung trả về có đặc tính tương đương như sử dụng chùm xung có chu kỳ lặp cố định. Trong sáng chế sử dụng các giải pháp phân tách, tổ hợp, các thuật toán xử lý tín hiệu trên cả miền thời và miền tần số.



Lĩnh vực kỹ thuật được đề cập

Sáng chế đề cập đến phương pháp xử lý tương can chùm xung có chu kỳ lặp biến đổi để mở rộng vùng xác định tần số Doppler của mục tiêu. Đảm bảo xử lý Doppler đối với các mục tiêu chuyển động nhanh và hệ thống ra đa có tần số hoạt động cao lên tới hàng chục GHz. Sáng chế có ứng dụng trong lĩnh vực hệ thống ra đa xung phát hiện tần số Doppler của mục tiêu. Đối với các hệ thống ra đa thông thường tần số Doppler có thể xác định được lớn nhất bằng tần số lặp xung. Tần số Doppler của mục tiêu tỉ lệ thuận với vận tốc hướng tâm của mục tiêu và tần số hoạt động của đài ra đa, vận tốc tương ứng với tần số Doppler lớn nhất gọi là vận tốc mù.

Tình trạng kỹ thuật của sáng chế

Trong hệ thống ra đa quân sự hay dân sự hiện đại, việc xác định tần số Doppler của mục tiêu là rất quan trọng. Từ tần số Doppler có thể tính được vận tốc hướng tâm của mục tiêu và từ đó có thể xác định vận tốc thực của mục tiêu khi biết hướng chuyển động, hoặc để phân biệt giữa mục tiêu chuyển động và mục tiêu đứng yên, phân biệt giữa mục tiêu chuyển động chậm và mục tiêu chuyển động nhanh. Đối với các đài ra đa phát xung, tần số Doppler tối đa mà đài ra đa có thể xử lý được bằng với tần số lặp xung, các mục tiêu có vận tốc ứng với tần số Doppler bằng số nguyên lần tần số lặp xung gọi là vận tốc mù. Các mục tiêu có vận tốc lớn hơn vận tốc mù bị xác định nhầm tần số Doppler, do đó vấn đề tăng vùng xử lý Doppler là vấn đề rất quan trọng trong ra đa.

Để tăng giới hạn tần số Doppler của mục tiêu giải pháp thông thường là tăng tần số lặp xung. Chu kỳ lặp xung được tính bằng nghịch đảo của tần số lặp xung do đó tăng tần số lặp xung tương đương với việc giảm chu kỳ lặp xung. Đối với các

hệ thống ra đa xung cự ly của mục tiêu được xác định bằng thời gian trễ của xung thu được với xung phát đi, thời gian trễ đo tối đa bằng với chu kỳ lặp xung như được thể hiện trong hình 1. Khi chu kỳ lặp xung giảm sẽ làm giảm cự ly phát hiện tối đa của hệ thống ra đa. Đối với các hệ thống ra đa chỉ cần phân biệt giữa mục tiêu chuyển động và mục tiêu đứng yên sử dụng bộ bù khử qua chu kỳ. Để mở rộng vùng vận tốc mù, một số hệ thống ra đa có sử dụng chùm xung có chu kỳ lặp biến đổi kết hợp tích lũy không tương can, thể hiện trong hình 2. Tuy nhiên đối với giải pháp này tuy giải quyết được vấn đề tăng vận tốc mù của hệ thống nhưng có 2 nhược điểm: Thứ nhất, giải pháp này không xác định được tham số vận tốc Doppler của mục tiêu chỉ có thể phân loại giữa mục tiêu chuyển động và mục tiêu đứng yên; Thứ hai, khi sử dụng giải pháp tích lũy không tương can thì độ lợi về tỉ số tín hiệu trên tạp âm của bộ tích lũy kém hơn so với khi sử dụng phương pháp tích lũy tương can. Đối với chùm xung có N xung, phương pháp tích lũy tương can tăng tỉ số tín hiệu trên tạp âm lên N lần, phương pháp tích lũy không tương can tăng tỉ số tín hiệu trên tạp âm lên $\sqrt{N}$ lần.

Bản chất kỹ thuật của sáng chế

Mục đích của sáng chế là đề xuất hệ thống xử lý tương can chùm xung có chu kỳ lặp biến đổi bao gồm các khối

Khối 1: khối tạo tín hiệu thăm dò;

Khối 2: khối lưu tín hiệu RAM và phân tách tín hiệu

Khối 3: khối biến đổi FFT;

Khối 4: khối bù lệch pha;

Khối 5: khối tổng hợp tín hiệu và xác định tần số Doppler của mục tiêu;

Trong đó, khối biến đổi FFT bao gồm 2 khối biến đổi FFT;

Mục đích khác của sáng chế là đề xuất phương pháp sử dụng kết hợp tích lũy tương can và chùm xung có chu kỳ lặp thay đổi. Với giải pháp này, hệ thống radar đảm bảo tăng được vận tốc mục; xác định chính xác thông tin tần số Doppler của mục tiêu; tăng độ lợi về tỉ số tín hiệu trên tạp âm nhờ sử dụng bộ tích lũy tương can. Để đạt được mục đích trên, phương pháp được đề xuất trong sáng chế bao gồm các bước: bước 1: xác định giá trị và quy luật thay đổi chu kỳ lặp trong chùm xung; bước 2: phân tích tín hiệu trên miền thời gian và tổng hợp tín hiệu trên miền tần số.

Đối với hệ thống radar thông thường chỉ sử dụng một tần số lặp cố định F_1 , thì tần số Doppler tối đa xử lý được là F_1 . Để tăng tần số Doppler xử lý tối đa của hệ thống radar, sáng chế sử dụng xen kẽ hai xung có tần số lặp xung thay đổi F_1 và F_2 . Khi đó tần số Doppler tối đa hệ thống có thể xử lý được là bội số chung nhỏ nhất của F_1 và F_2 .

Giả sử tần số lặp $F_1 = 4\text{kHz}$ tương đương chu kỳ lặp $T_1 = 250\mu\text{s}$, $F_2 = 5\text{kHz}$ tương đương với chu kỳ lặp $T_2 = 200\mu\text{s}$. Đối với hệ thống thông thường tần số Doppler tối đa có thể xử lý được là 4kHz , đối với hệ thống xử lý sử dụng sáng chế thì tần số Doppler tối đa có thể xử lý được là 20kHz .

Phương pháp tích lũy tương can thông thường sử dụng với hệ thống radar có chùm xung trả về tương can hoàn toàn với nhau (cùng pha hoặc có độ lệch pha không đổi), phép tích lũy tương can hay được sử dụng là phép biến đổi Fourier nhanh (FFT). Khi chùm xung trả về không tương can hoàn toàn như thay đổi về pha, tần số lặp thì hệ thống thường sử dụng tích lũy không tương can.

Trong sáng chế sử dụng giải pháp thay đổi chu kỳ lặp qua các chu kỳ mặc dù tính tương can của chùm xung trả về bị mất đi tuy nhiên sáng chế sử dụng kỹ thuật

bù thời gian trễ giữa 2 chu kỳ đưa tín hiệu chùm xung trả về có đặc tính tương đương như sử dụng chùm xung có chu kỳ lặp cố định.

Như hình 3 hệ thống sử dụng xen kẽ chùm xung có chu kỳ lặp T_1 và T_2 với $T_1 > T_2$, ta thực hiện bù trên cả 2 chu kỳ để tương đương với hệ thống sử dụng chùm xung có chu kỳ lặp không đổi bằng $(T_1 + T_2)/2$.

Sáng chế sử dụng kỹ thuật bù pha trên miền tần số thay cho bù pha trên miền thời gian theo công thức của phép biến đổi Fourier:

$$FT(x(t - t_0)) = e^{-j2\pi f t_0} * FT(x(t)) \quad (1)$$

Trong công thức trên giá trị t_0 là độ lệch thời gian đã được xác định trước:

Theo hình 3, các tín hiệu có chu kỳ lặp xung T_2 trễ hơn so với chu kỳ lặp chuẩn T một khoảng thời gian là:

$$\Delta T = T_1 - T = T_1 - \frac{T_1 + T_2}{2} = \frac{T_1 - T_2}{2} \quad (2)$$

Giá trị ΔT trong phương trình (2) chính là giá trị độ lệch t_0 tại phương trình (1).

Để tiết kiệm tài nguyên cho hệ thống thực thi, sáng chế còn sử dụng thuật toán biến đổi FFT theo đồ hình cánh bướm như hình 4. Các tín hiệu trả về từ các chu kỳ lặp bằng T_1 sẽ được đưa vào một bộ FFT1, các tín hiệu trả về từ các chu kỳ lặp bằng T_2 sẽ được đưa vào bộ FFT2. Đầu ra của 2 bộ FFT này được tổng hợp lại theo công thức:

$$X(k)_N = G(k)_{\frac{N}{2}} + W_N^k H(k)_{\frac{N}{2}} \quad (3)$$

Trong đó:

- $X(k)_N$ là đầu ra bộ tổng hợp FFT có số điểm là N ;
- $G(k)_{N/2}$ là đầu ra bộ FFT1 có số điểm là $N/2$;

- $H(k)N/2$ là đầu ra bộ FFT2 có số điểm là $N/2$;
- $W_N^k = e^{\frac{j2\pi k}{N}}$

Mô tả vắn tắt các hình vẽ

Hình 1, đã được mô tả, là nguyên lý thu phát tín hiệu trong ra đa xung. Trong đó cự ly của mục tiêu được tính từ độ trễ giữa xung trả về so với xung phát đi. Cự ly phát hiện mục tiêu xa nhất tương ứng với chu kỳ lặp của xung phát.

Hình 2, đã được mô tả, đáp ứng biên độ tần số của các bộ lọc MTI (Moving Target Indicator). Hình 2a là đáp ứng bộ lọc MTI ứng với ra đa có tần số lặp xung $FL1 = 5\text{kHz}$, hình 2b là đáp ứng bộ lọc MTI ứng với ra đa có tần số lặp xung $FL2 = 4\text{kHz}$, hình 2c là đáp ứng bộ lọc MTI ứng với ra đa thay đổi tần số lặp giữa $FL1$ và $FL2$.

Hình 3, đã được mô tả, chùm xung phát đi có chu kỳ lặp thay đổi xem kẽ giữa $T1$ và $T2$ trong đó $T1 > T2$.

Hình 4, đã được mô tả, nguyên lý thực hiện phép biến đổi FFT có chiều dài N từ các bộ biến đổi FFT có chiều dài $N/2$ theo nguyên tắc cánh bướm.

Hình 5, sơ đồ nguyên lý tổng quát thực hiện sáng chế.

Hình 6, nguyên lý lưu dữ liệu trong RAM và phân tách tín hiệu thành hai luồng xử lý FFT.

Hình 7, nguyên lý thực hiện xử lý tương can chùm xung có chu kỳ lặp biến đổi sử dụng giải pháp bù pha trên miền thời gian.

Mô tả chi tiết sáng chế

Trước tiên tham chiếu đến hình 5 về sơ đồ nguyên lý tổng thể của phương pháp xử lý tương can chùm xung có chu kỳ lặp biến đổi. Sáng chế được thực hiện thông qua các khối sau.

Khối 1: tạo tín hiệu thăm dò;

Khối 2: bao gồm khối lưu tín hiệu thu RAM và khối phân tách tín hiệu;

Khối 3: bao gồm 2 khối biến đổi FFT;

Khối 4: khối bù lệch pha;

Khối 5: khối tổng hợp tín hiệu và xác định tần số Doppler của mục tiêu;

Khối đồng bộ đảm bảo sự hoạt động đồng bộ giữa các khối tạo tín hiệu thăm dò, phân tách tín hiệu và khối bù lệch thời gian trễ.

Nguyên lý hoạt động chi tiết của các khối như sau:

Khối 1: tạo tín hiệu thăm dò. Tại khối này, tiến hành tạo tín hiệu thăm dò có chu kỳ lặp biến đổi xen kẽ T1, T2 đã nêu ở phần trên. Giá trị T1, T2 được lựa chọn dựa theo các tiêu chuẩn:

Đảm bảo cự ly phát hiện tối đa của đài ra đa: các giá trị T1 và T2 phải lớn hơn thời gian trễ ứng với cự ly phát hiện lớn nhất của đài ra đa.

Đảm bảo bội chung nhỏ nhất của tần số lặp F1, F2 lớn hơn vận tốc Doppler lớn nhất của mục tiêu mà đài ra đa quan sát.

Trong sáng chế thiết kế cho đài ra đa có cự ly quan sát tối đa là 30Km, tần số Doppler lớn nhất của mục tiêu là 10kHz từ đó tính toán được:

$$T1 = 250\mu s \Leftrightarrow F1 = 4\text{kHz};$$

$$T2 = 200\mu s \Leftrightarrow F2 = 5\text{kHz};$$

Khối 2: bao gồm khối lưu tín hiệu thu RAM và khối phân tách tín hiệu. Tại khối này, tín hiệu thu được từ mục tiêu được lưu vào bộ nhớ RAM sau đó phân tách thành hai luồng tín hiệu, với số xung tích lũy là 16 xung như hình 6. Tín hiệu được lưu dưới dạng ma trận, dữ liệu theo chiều cự ly được lưu theo chiều ngang,

dữ liệu các xung liên tiếp nhau (theo chiều phương vị) được lưu theo chiều dọc. Dữ liệu lưu vào RAM theo chiều ngang (theo chiều cự ly) và đọc ra để xử lý FFT theo chiều dọc (theo chiều phương vị). Dữ liệu được phân tách thành hai luồng với các xung có cùng chu kỳ lặp $T1$ và $T2$:

Luồng tín hiệu thứ nhất bao gồm 8 xung ứng với các xung thuộc chu kỳ có chu kỳ lặp là $T1$;

Luồng tín hiệu thứ hai bao gồm 8 xung ứng với các xung thuộc chu kỳ có chu kỳ lặp là $T2$.

Như vậy sau khi phân tách tín hiệu thành 2 luồng thì tín hiệu trên mỗi luồng là tương can hoàn toàn với nhau, khoảng cách giữa hai xung trả về liên tiếp là $T = T1 + T2 = 450\mu s$ (tham khảo hình 3). Hai luồng dữ liệu này được xử lý độc lập bằng hai bộ FFT có số điểm bằng 8.

Khối 3: Khối biến đổi FFT. Gồm 2 khối biến đổi FFT có số điểm bằng 8 biến đổi tín hiệu từ miền thời gian của 2 luồng tín hiệu phân tách ở khối 2 sang miền tần số. Khối FFT được thực hiện bằng core có sẵn trong FPGA, DSP hoặc máy tính tốc độ cao.

Khối 4: Khối bù lệch pha. Khối này sẽ giúp bù lệch thời gian trễ và nhân trọng số ghép giữa 2 kênh FFT. Từ công thức (1) và (2) tín hiệu từ khối FFT2 được bù lệch thời gian trễ trên miền tần số theo công thức:

$$C_f = e^{-j2\pi f t_0} = e^{-j2\pi f \frac{T1-T2}{2}} \quad (4)$$

Trong đó:

- f : giá trị tần số Doppler tại các băng Doppler;
- f có giá trị từ $-fd_max$ đến fd_max : từ -10kHz đến 10kHz;
- f có bước nhảy bằng giá trị của một ô Doppler: 160 Hz.

Trong khối này, giá trị bù C_f được nhân kết hợp với trọng số $W_N^k = e^{\frac{j2\pi k}{N}}$. Để giảm tài nguyên và số lượng phép tính toán cho hệ thống, các giá trị bù trễ và trọng số kết hợp FFT được tính toán trước và đưa vào các bộ nhớ ROM và đọc ra trong quá trình tính toán. Việc kết hợp giữa quá trình ghép 2 khối FFT và bù lệch pha trên miền tần số là một vấn đề quan trọng bậc nhất của sáng chế. Thuật toán này vừa đảm bảo độ phân bố đều tín hiệu trả về của mục tiêu lên 2 chu kỳ lặp xung T1, T2 và vừa đảm bảo được số lượng phép toán thực thi là thấp nhất, giảm tài nguyên cho các hệ thống cũng như đảm bảo việc chạy hệ thống dạng thời gian thực.

Ta xét trong trường hợp thực hiện bù trễ trên miền thời gian sẽ phải thực hiện số lượng bộ FFT 16 điểm bằng số lượng băng lọc Doppler trong toàn miền tần số, theo hình 7:

$$N1_{FFT} = \frac{20 \text{ kHz}}{160 \text{ Hz}} = 125$$

Số phép toán tương đương trong trường hợp này là:

$$N1_{Math} = 125 * 16 * \log_2 16 = 8000$$

Trong trường hợp sử dụng kết hợp việc bù pha trên miền thời gian và ghép 2 phép biến đổi FFT, chỉ cần sử dụng 2 khối FFT 8 điểm. Số phép toán trong trường hợp này là:

$$N2_{Math} = 2 * 8 * \log_2 8 = 48$$

Như vậy việc sử dụng sáng chế giảm 167 lần các phép toán so với sử dụng các biện pháp thông thường. Kết quả đầu ra của khối này là tín hiệu không tương can (sử dụng chu kỳ lặp T1, T2) được bù pha trên miền tần số để ghép với nhau một cách tương can.

Khối 5: khối tổng hợp tín hiệu và xác định tần số Doppler của mục tiêu. Khối tổng hợp bản chất là một bộ cộng phức, cộng 2 luồng tín hiệu sau FFT1 và

sau bộ bù trễ nhân trọng số như trong công thức (3). Khối xác định tần số Doppler của mục tiêu là một khối tính giá trị công suất (tách sóng pha) và tìm băng lọc có giá trị công suất lớn nhất. Từ giá trị băng lọc này tính ra tần số Doppler thực của mục tiêu:

$$f_{doppler} = n_{band} * f_{band}$$

Trong đó:

- $f_{doppler}$ là tần số Doppler của mục tiêu;
- n_{band} là giá trị băng lọc có công suất lớn nhất;
- f_{band} là giá trị của một băng lọc Doppler (160 Hz).

Phương pháp xử lý tương can chùm xung có chu kỳ lặp biến đổi bao gồm 2 bước chính:

Bước 1: xác định giá trị và quy luật thay đổi chu kỳ lặp trong chùm xung. Bước này được thực hiện ở khối 1 (tạo tín hiệu thăm dò). Việc xác định giá trị và quy luật thay đổi của chu kỳ lặp xung dựa vào các yếu tố sau:

Yếu tố 1: cự ly phát hiện của đài ra đa (R) quyết định chu kỳ lặp xung (T_2) và tần số lặp xung (F_2) theo công thức:

$$T_2 = \frac{2R}{c}$$

$$F_2 = \frac{1}{T_2}$$

Trong đó c là vận tốc ánh sáng;

Yếu tố 2: tần số Doppler tối đa mà đài ra đa cần xử lý được (F_{max}). Từ F_{max} tính được T_1 và F_1 , theo công thức:

$$N = \frac{F_{max}}{F_2}$$

$$F_1 = \frac{F_{max}}{N + 1}$$

$$T1 = \frac{1}{F_1}$$

Bước 2: phân tích tín hiệu trên miền thời gian và tổng hợp tín hiệu trên miền tần số. Bước này được thực hiện bằng các khối 2, khối 3, khối 4, khối 5 xử lý thu tín hiệu từ mục tiêu. Kết quả đạt được của bước này là xác định tần số Doppler của mục tiêu với tần số Doppler lớn nhất là Fmax được xác định trong bước 1. Nguyên lý thực hiện của các khối 2, khối 3, khối 4, khối 5 được mô tả chi tiết ở trên.

Yêu cầu bảo hộ

1. Hệ thống xử lý tương can chùm xung có chu kỳ lặp biến đổi bao gồm các khối:

khối 1: là khối tạo tín hiệu thăm dò; tại khối này, tiến hành tạo tín hiệu thăm dò có chu kỳ lặp biến đổi xen kẽ T_1, T_2 ; giá trị T_1, T_2 được lựa chọn dựa theo các tiêu chuẩn:

đảm bảo cự ly phát hiện tối đa của đài ra đa: các giá trị T_1 và T_2 phải lớn hơn thời gian trễ ứng với cự ly phát hiện lớn nhất của đài ra đa;

đảm bảo bội chung nhỏ nhất của tần số lặp F_1, F_2 lớn hơn vận tốc doppler lớn nhất của mục tiêu mà đài ra đa quan sát;

khối 2: bao gồm khối lưu tín hiệu thu RAM và khối phân tách tín hiệu; tại khối này, tín hiệu thu được từ mục tiêu được lưu vào bộ nhớ RAM sau đó phân tách thành hai luồng tín hiệu, với số xung tích lũy là 16; tín hiệu được lưu dưới dạng ma trận, dữ liệu theo chiều cự ly được lưu theo chiều ngang, dữ liệu các xung liên tiếp nhau (theo chiều phương vị) được lưu theo chiều dọc; dữ liệu lưu vào RAM theo chiều ngang (theo chiều cự ly) và đọc ra để xử lý FFT theo chiều dọc (theo chiều phương vị); dữ liệu được phân tách thành hai luồng với các xung có cùng chu kỳ lặp T_1 và T_2 :

luồng tín hiệu thứ nhất bao gồm 8 xung ứng với các xung thuộc chu kỳ có chu kỳ lặp là T_1 ;

luồng tín hiệu thứ hai bao gồm 8 xung ứng với các xung thuộc chu kỳ có chu kỳ lặp là T_2 ;

khối 3: khối biến đổi FFT; gồm 2 khối biến đổi FFT có số điểm bằng 8 biến đổi tín hiệu từ miền thời gian của 2 luồng tín hiệu phân tách ở khối 2 sang miền tần

số; khối FFT được thực hiện bằng core có sẵn trong FPGA, DSP hoặc máy tính tốc độ cao;

khối 4: khối bù lệch pha; khối này sẽ giúp bù lệch thời gian trễ và nhân trọng số ghép giữa 2 kênh FFT; trong khối này, để giảm tài nguyên và số lượng phép tính toán cho hệ thống, các giá trị bù trễ và trọng số kết hợp FFT được tính toán trước và đưa vào các bộ nhớ ROM và đọc ra trong quá trình tính toán; thuật toán này vừa đảm bảo độ phân bố đều tín hiệu trả về của mục tiêu lên 2 chu kỳ lặp xung T1, T2 và vừa đảm bảo được số lượng phép toán thực thi là thấp nhất, giảm tài nguyên cho các hệ thống cũng như đảm bảo việc chạy hệ thống dạng thời gian thực;

khối 5: khối tổng hợp tín hiệu và xác định tần số doppler của mục tiêu; khối tổng hợp bản chất là một bộ cộng phức, cộng 2 luồng tín hiệu sau FFT1 và sau bộ bù trễ nhân trọng số như trong công thức dưới đây:

$$X(k)_N = G(k)_{\frac{N}{2}} + W_N^k H(k)_{\frac{N}{2}}$$

trong đó:

$X(k)_N$ là đầu ra bộ tổng hợp FFT có số điểm là N;

$G(k)_{N/2}$ là đầu ra bộ FFT1 có số điểm là N/2;

$H(k)_{N/2}$ là đầu ra bộ FFT2 có số điểm là N/2;

$$W_N^k = e^{\frac{j2\pi k}{N}}$$

khối xác định tần số doppler của mục tiêu là một khối tính giá trị công suất (tách sóng pha) và tìm băng lọc có giá trị công suất lớn nhất; từ giá trị băng lọc này tính ra tần số doppler thực của mục tiêu.

2. Phương pháp xử lý tương can chùm xung có chu kỳ lặp biến đổi bao gồm hai bước:

bước 1: xác định giá trị và quy luật thay đổi chu kỳ lặp trong chùm xung; bước này được thực hiện ở khối 1 (tạo tín hiệu thăm dò); việc xác định giá trị và quy luật thay đổi của chu kỳ lặp xung dựa vào các yếu tố sau:

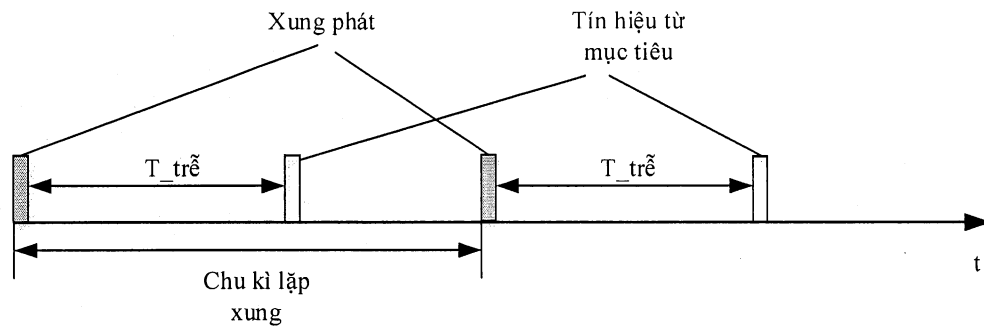
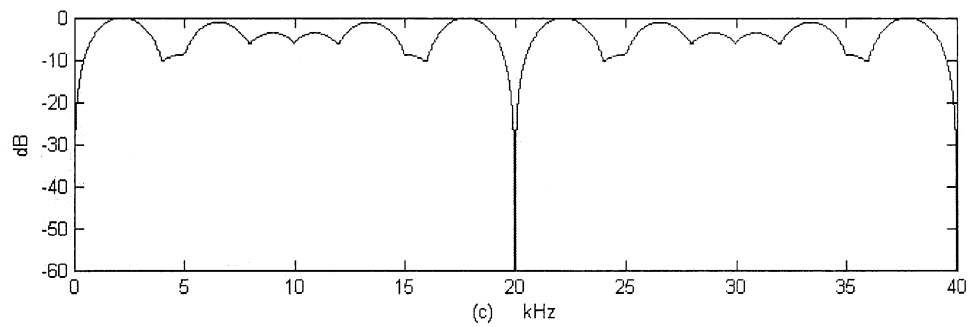
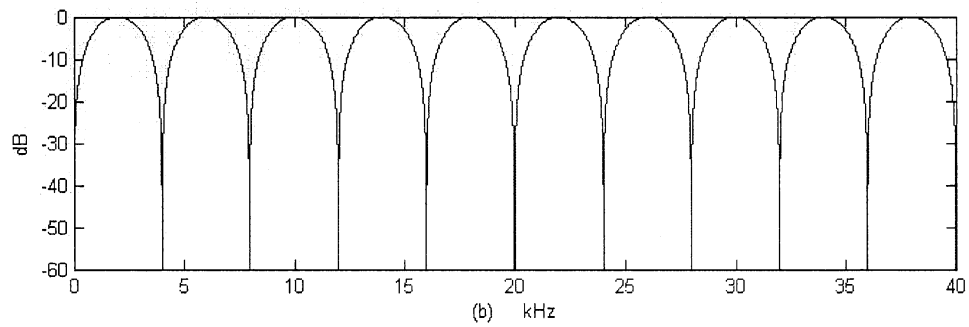
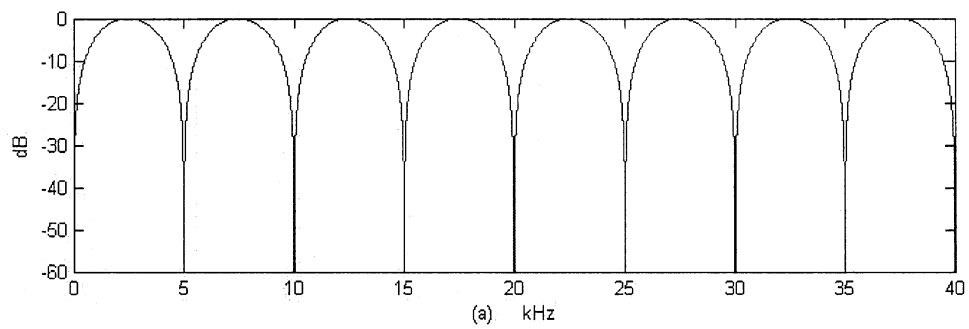
yếu tố 1: cự ly phát hiện của đài ra đa (R) quyết định chu kỳ lặp xung (T2) và tần số lặp xung (F2);

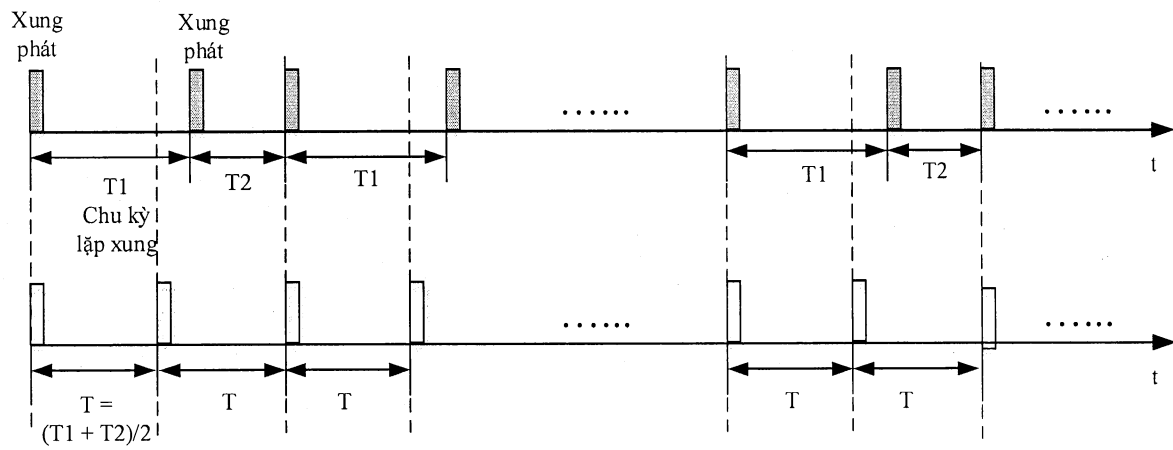
yếu tố 2: tần số doppler tối đa mà đài ra đa cần xử lý được (f_{max});

bước 2: phân tích tín hiệu trên miền thời gian và tổng hợp tín hiệu trên miền tần số; bước này được thực hiện bằng các khối 2, khối 3, khối 4, khối 5 xử lý thu tín hiệu từ mục tiêu; kết quả đạt được của bước này là xác định tần số doppler của mục tiêu với tần số doppler lớn nhất là f_{max} được xác định trong bước 1.

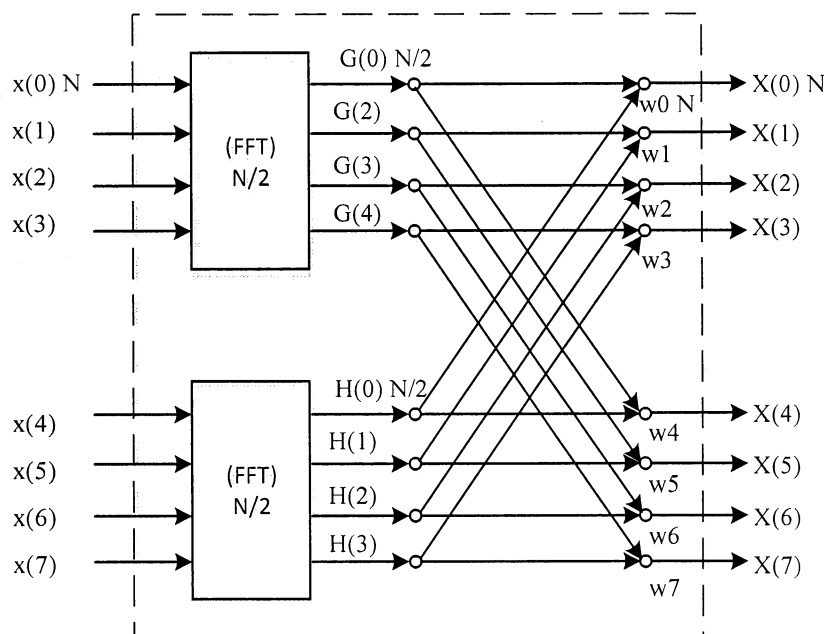
3. Phương pháp xử lý tương can chùm xung có chu kỳ lặp biến đổi, theo điểm 2, trong đó, bước xác định giá trị và quy luật thay đổi chu kỳ lặp trong chùm xung giúp tăng vùng xử lý vận tốc doppler của mục tiêu, xác định được thông tin tần số doppler của mục tiêu.

4. Phương pháp xử lý tương can chùm xung có chu kỳ lặp biến đổi, theo điểm 2 hoặc điểm 3, trong đó, việc phân tích tín hiệu trên miền thời gian và tổng hợp tín hiệu trên miền tần số đảm bảo khả năng xử lý tương can của chùm xung, tiết kiệm tài nguyên cho hệ thống.

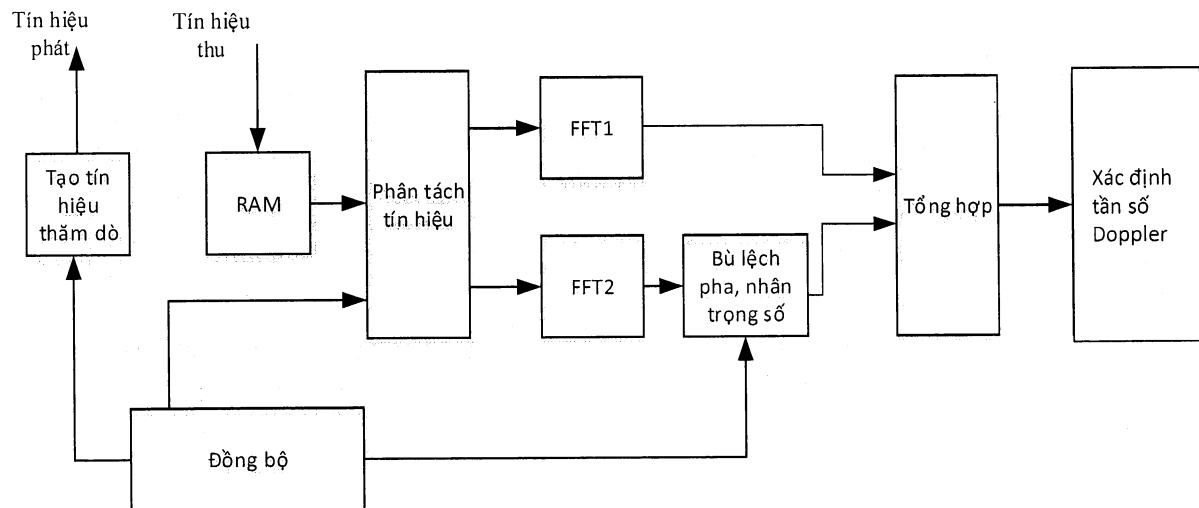
Hình vẽ**Hình 1****Hình 2**



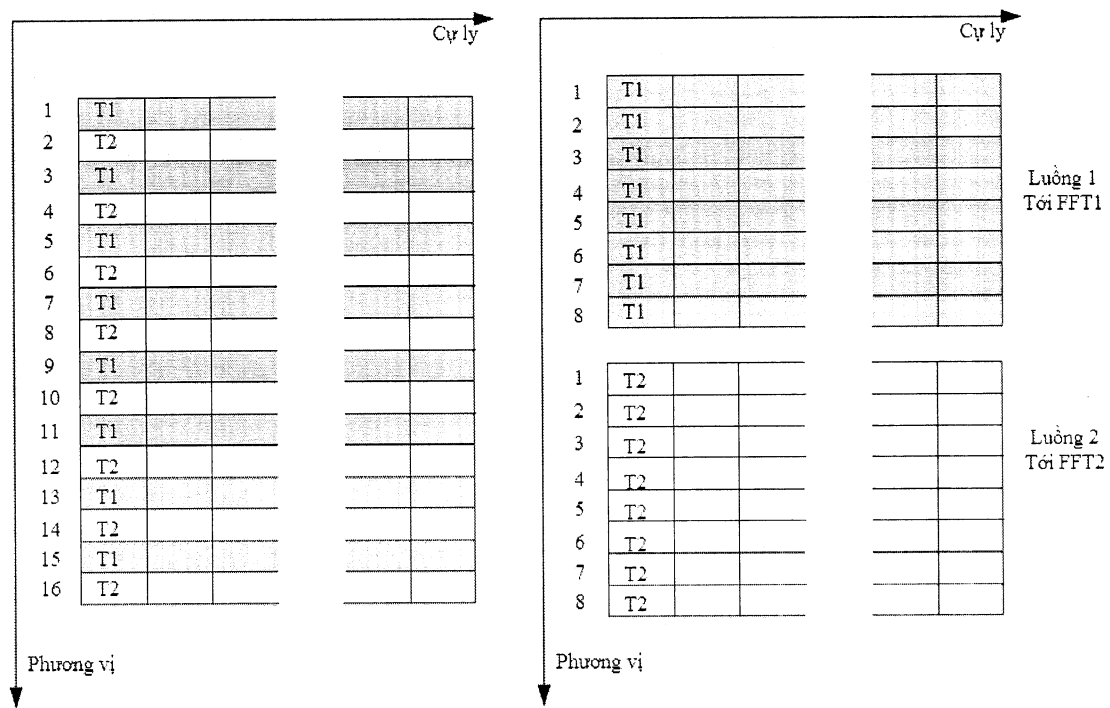
Hình 3



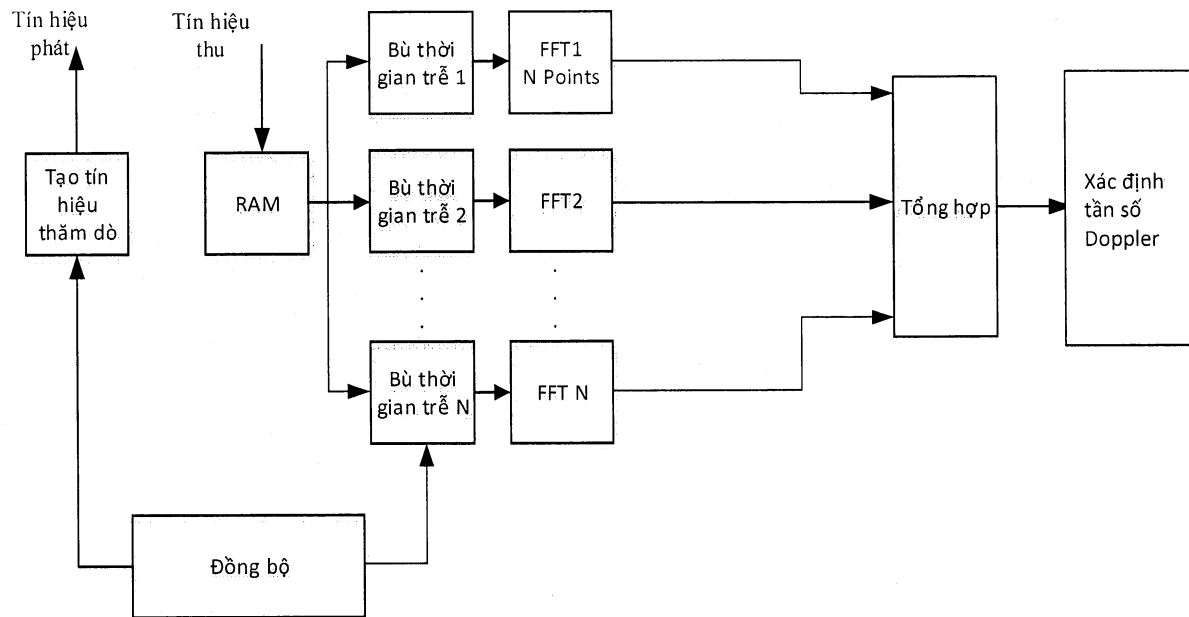
Hình 4



Hình 5



Hình 6



Hình 7