

ĐẠI HỌC QUỐC GIA THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH
TRƯỜNG ĐẠI HỌC BÁCH KHOA
CHƯƠNG TRÌNH KỸ SƯ CHẤT LƯỢNG CAO VIỆT PHÁP
KHOA ĐIỆN - ĐIỆN TỬ
BỘ MÔN VIỄN THÔNG



LUẬN VĂN TỐT NGHIỆP

**THIẾT KẾ VÀ XÂY DỰNG HỆ THỐNG
RADAR TẦM NGẮN THỜI GIAN THỰC
TRÊN BĂNG TẦN 2.4 GHz**

SINH VIÊN THỰC HIỆN:
LÊ HOÀNG ANH - 41100075

GIẢNG VIÊN HƯỚNG DẪN:
TS. TRỊNH XUÂN DŨNG

Thành phố Hồ Chí Minh, tháng 6 năm 2016

NHIỆM VỤ LUẬN VĂN

**PHIẾU CHẤM ĐIỂM BẢO VỆ LVTN DÀNH CHO
GVHD**

**PHIẾU CHẤM ĐIỂM BẢO VỆ LVTN DÀNH CHO
GVPB**

LỜI CẢM ƠN

Sau gần 5 năm học tập và rèn luyện tại **Trường Đại học Bách Khoa TP.HCM**, em đã tích lũy cho mình rất nhiều kiến thức cũng như kinh nghiệm sống để làm hành trang cho mình trước khi trở thành một kỹ sư trong tương lai. Bên cạnh những nỗ lực và cố gắng của bản thân mình, em đã nhận được rất nhiều sự quan tâm và giúp đỡ của quý **Thầy Cô, Gia đình và Bạn bè**. Với lòng biết ơn sâu sắc nhất, em xin chân thành gửi đến quý **Thầy Cô Trường Đại học Bách Khoa TP.HCM**, quý **Thầy Cô Khoa Điện - Điện Tử** - những người đã cùng với tri thức và tâm huyết truyền đạt vốn kiến thức quý báu của mình cho chúng em trong suốt thời gian học tập tại trường.

Đặc biệt, em xin gửi lời cảm ơn chân thành nhất đến Thầy hướng dẫn của mình - **TS. Trịnh Xuân Dũng** - người đã tận tình hướng dẫn và giúp đỡ em trong quá trình thực hiện luận án này.

Qua đây, em cũng xin gửi đến gia đình và bạn bè của mình lời cảm ơn chân thành và đặc biệt là mẹ em người đã luôn ủng hộ và hỗ trợ để em có thể hoàn thành tốt luận án này.

Trong quá trình thực hiện luận án chắc chắn không thể tránh khỏi những sai sót, do vậy em rất mong nhận được những ý kiến đóng góp quý báu của quý Thầy Cô để em học hỏi thêm nhiều kinh nghiệm và hoàn thiện luận án của mình.

Sau cùng, em xin kính chúc quý **Thầy Cô Trường Đại học Bách Khoa TP.HCM** và **Thầy Trịnh Xuân Dũng** được dồi dào sức khỏe, đạt được nhiều thành công trong cuộc sống và luôn giữ vững ngọn lửa đam mê của mình trong việc truyền đạt kiến thức cho thế hệ mai sau.

Thành phố Hồ Chí Minh, tháng 6 năm 2016

LÊ HOÀNG ANH

TÓM TẮT

Trong luận án này, một hệ thống Radar tầm ngắn được xây dựng có khả năng xác định vận tốc (Doppler mode) và khoảng cách (Ranging mode) của vật thể chuyển động trong tầm hoạt động của Radar. Ngoài ra, hệ thống Radar còn có khả năng tái hiện hình ảnh vật chắn phía trước Radar (SAR mode).

Luận án này tập trung vào việc thiết kế một hệ thống Radar bao gồm các khối chính: khối phát tín hiệu, khối thu tín hiệu, khối xử lý tín hiệu và hiển thị. Trong đó, khối phát tín hiệu bao gồm: bộ điều chế xung tam giác (Modulator), bộ phát sóng cao tần điều khiển bằng điện áp (VCO), bộ khuếch đại công suất (Power Amplifier), bộ chia công suất (Splitter) và anten phát (Horn Antenna - Circular Wave Guide); khối thu tín hiệu bao gồm: anten thu (Horn Antenna - Circular Wave Guide), bộ khuếch đại công suất nhiễu thấp (LNA), bộ trộn tần (Mixer), bộ lọc và khuếch đại tín hiệu dây nền (Video Amplifier); khối xử lý tín hiệu và hiển thị được sử dụng là laptop - thiết bị quen thuộc đối với sinh viên.

Hệ thống Radar này được thiết kế và sử dụng ở băng tần ISM - 2.4GHz và được kết nối với máy tính thông qua đầu thu *microphone* để xử lý dữ liệu trên phần mềm MATLAB. Đặc biệt, Radar được thiết kế có khả năng xử lý dữ liệu realtime trong việc xác định khoảng cách và vận tốc vật thể thông qua việc sử dụng *DAQ toolbox* trong MATLAB, từ đó nâng cao tính ứng dụng của Radar trong thực tế.

Mục lục

Nhiệm vụ luận văn	ii
Phiếu chấm điểm bảo vệ LVTN dành cho GVHD	iii
Phiếu chấm điểm bảo vệ LVTN dành cho GVPB	iv
Lời cảm ơn	v
Tóm tắt luận văn	vi
Mục lục	vi
Danh sách hình vẽ	x
Danh sách bảng	xiv
Danh mục từ viết tắt	xv
1 Mở đầu	1
1.1 Mục đích	1
1.2 Mục tiêu nghiên cứu	1
1.3 Phạm vi nghiên cứu và đối tượng nghiên cứu	1
1.3.1 Phạm vi nghiên cứu	1
1.3.2 Đối tượng nghiên cứu	2
1.4 Phương pháp nghiên cứu	2
1.5 Các đóng góp chính	2
1.6 Cấu trúc luận văn	2
2 Giới thiệu tổng quan về các hệ thống Radar	3
2.1 Tổng quan về Radar	3
2.1.1 Lịch sử ra đời và phát triển của Radar	4
2.1.2 Nguyên lý cơ bản của Radar	5
2.2 Các thành phần cơ bản của Radar	6
2.2.1 Anten	7
2.2.1.1 Anten loa (Horn Antenna)	7

2.2.1.2	Anten chảo parabol (Parabol Antenna)	9
2.2.2	Duplexer	10
2.2.3	Bộ trộn tần (Mixer)	11
2.2.4	Bộ tạo dao động (Oscillator)	12
2.2.5	Bộ khuếch đại công suất (Power Amplifier)	13
2.2.6	Bộ khuếch đại nhiễu thấp (Low Noise Amplifier)	13
2.2.7	Bộ phát radar	13
2.2.8	Bộ thu radar	14
2.3	Phương trình Radar	15
2.3.1	Phương trình Friss	15
2.3.2	Diện tích phản xạ (Radar Cross Section - RCS)	15
2.3.3	Phương trình radar	16
2.3.4	Tầm hoạt động của radar	18
2.4	Các loại Radar phổ biến	19
2.4.1	CW Radar	19
2.4.2	FMCW Radar	20
2.4.3	Synthetic Aperture Radar	21
2.4.4	Simple Pulse Radar	22
2.4.5	Moving - Target Indication (MTI) Radar	23
2.4.6	Pulse Doppler Radar	23
2.4.7	Radar sử dụng mảng anten (Phased - Array Radar)	24
2.5	Các dãy tần số hoạt động của Radar	26
2.6	Ứng dụng của Radar	28
2.6.1	Ứng dụng trong quân sự	28
2.6.2	Viễn thám môi trường	28
2.6.3	Điều khiển không lưu	28
2.6.4	Ứng dụng khác	28
2.7	Kết luận chương	29
3	Phân tích đề tài	30
3.1	Mục đích và yêu cầu thiết kế	30
3.1.1	Mục đích thiết kế	30
3.1.2	Yêu cầu thiết kế	30
3.2	Các loại Radar được sử dụng	31
3.2.1	Continuous Wave (CW) Radar	31
3.2.1.1	Cấu trúc của một hệ thống CW Radar	32
3.2.1.2	Hiệu ứng Doppler	32
3.2.1.3	CW Doppler Radar	32
3.2.1.4	Xử lý dữ liệu đối với hệ thống CW radar	37
3.2.1.5	Tầm hoạt động của hệ thống CW Radar	38
3.2.2	Frequency Modulated Continuous Wave (FMCW) Radar	38

3.2.2.1	Cấu trúc của một hệ thống FMCW Radar	39
3.2.2.2	FMCW Radar	41
3.2.2.3	Xử lý dữ liệu đối với hệ thống FMCW	47
3.2.2.4	Tầm hoạt động và độ phân giải của hệ thống FMCW Radar . .	47
3.3	Kết luận chương	47
4	Thiết kế khối phần cứng của hệ thống Radar	48
4.1	Mô tả chung	48
4.2	Sơ đồ khối của hệ thống radar	48
4.2.1	Hệ thống CW radar	48
4.2.2	Hệ thống FMCW radar	49
4.3	Lựa chọn linh kiện, tính toán và mô phỏng	50
4.3.1	Anten	50
4.3.1.1	Phân tích	51
4.3.1.2	Mô phỏng	52
4.3.2	Video Amplifier	55
4.3.2.1	Phân tích	56
4.3.2.2	Mô phỏng	63
4.3.3	Modulator	63
4.3.3.1	Phân tích	65
4.4	Thiết kế, đo đạc và kiểm tra	66
4.4.1	Anten	66
4.4.1.1	Thông số S_{11} (Return Loss)	66
4.4.1.2	Đồ thị bức xạ (Radiation Pattern)	70
4.4.1.3	Hệ số cách ly (Isolation)	77
4.4.2	VCO (Voltage Controlled Oscillator)	77
4.4.3	Bộ khuếch đại công suất (Power Amplifier) và bộ khuếch đại nhiễu thấp (Low Noise Amplifier)	80
4.4.4	Bộ chia công suất (Splitter)	82
4.4.5	Bộ trộn tần (Mixer)	83
4.4.6	Bộ điều chế (Modulator) và bộ khuếch đại điện áp (Video Amplifier) . .	85
4.4.6.1	Modulator	87
4.4.6.2	Video amplifier	89
4.4.7	Hệ thống Radar hoàn chỉnh	90
4.5	Kết luận chương	91
5	Hệ thống xử lý tín hiệu Radar và phân tích kết quả thử nghiệm	92
5.1	CW Radar	92
5.1.1	Giải thuật Matlab	92
5.1.2	Cấu hình hệ thống	93
5.1.3	Chạy thử nghiệm và phân tích kết quả	95

5.2	FMCW Radar	100
5.2.1	Giải thuật Matlab	100
5.2.2	Cấu hình hệ thống	102
5.2.3	Chạy thử nghiệm và phân tích kết quả	103
5.2.3.1	Dùng bộ lọc thông cao để loại bỏ <i>Coupling</i>	107
5.2.3.2	Giải thuật CCD - Coherent Change Detection - loại bỏ tín hiệu tĩnh	112
5.3	Kết luận chương	113
6	Kết luận và hướng phát triển	115
6.1	Những đóng góp của luận án	115
6.2	Hướng phát triển	115
	Tài liệu tham khảo	117

Danh sách hình vẽ

2.1	Hệ thống Radar cơ bản	6
2.2	Hệ thống Radar với Duplexer	6
2.3	Sơ đồ khối của một hệ thống Radar đơn giản	7
2.4	Định nghĩa về độ lợi của anten	8
2.5	Các dạng cấu hình cơ bản của anten horn	8
2.6	Đồ thị bức xạ 3D của một anten horn	9
2.7	Anten parabol	9
2.8	Đồ thị bức xạ của anten parabol	10
2.9	Sơ đồ khối của bộ circulator	11
2.10	Sơ đồ khối của bộ mixer	11
2.11	Cách thức chuyển tần lên và xuống của mixer	12
2.12	Mô hình bộ phát tín hiệu radar cơ bản	14
2.13	Mô hình bộ thu tín hiệu radar cơ bản	14
2.14	Mô hình truyền sóng trong không gian tự do	15
2.15	Đặc tính tán xạ của vật thể trong truyền và nhận sóng radar	16
2.16	Mô hình truyền sóng radar cơ bản	17
2.17	Mô hình CW radar	20
2.18	Sóng điều chế dừng trong FMCW Radar	20
2.19	Mô hình Synthetic Aperture Radar	21
2.20	Dạng xung phát ra từ Pulse Radar	23
2.21	Mô hình radar phát xung và độ phân giải tương ứng với độ rộng xung	23
2.22	Tín hiệu nhận về từ MIT radar đối với vật thể chuyển động và không chuyển động	24
2.23	Hệ thống mảng anten	25
2.24	Hệ thống radar sử dụng mảng anten	25
3.1	Sơ đồ khối hệ thống CW Radar điển hình	31
3.2	Hệ thống CW Radar và hiệu ứng Doppler	33
3.3	Sự trễ pha của tín hiệu thu đối với tín hiệu phát	34
3.4	Vận tốc tương đối và vận tốc thực tế của vật thể chuyển động so với radar	35
3.5	Hệ thống CW radar sử dụng bộ dịch pha 90°	36
3.6	Các dạng điều chế trong hệ thống FMCW radar	40
3.7	Sơ đồ khối hệ thống FMCW radar đơn giản	40

3.8	Điều chế xung tam giác và dạng sóng ngõ ra tương ứng	41
3.9	Trường hợp vật thể không chuyển động	42
3.10	Trường hợp vật thể chuyển động lại gần radar với $f_d < f_b$	43
3.11	Trường hợp vật thể chuyển động ra xa radar với $f_d < f_b$	43
3.12	Trường hợp vật thể chuyển động lại gần radar với $f_d > f_b$	45
3.13	Trường hợp vật thể chuyển động ra xa radar với $f_d > f_b$	45
4.1	Sơ đồ khối ở chế độ CW radar	49
4.2	Sơ đồ khối ở chế độ FMCW radar	49
4.3	Hình dạng của một cantenna	51
4.4	Hình dạng 3D của cantenna mô phỏng trong CST	52
4.5	Mặt trước của cantenna	53
4.6	Mặt trên của cantenna	53
4.7	Kết quả mô phỏng - Hệ số S_{11}	54
4.8	Kết quả mô phỏng - Đồ thị bức xạ 3D	54
4.9	Schematic của mạch Video Amplifier	55
4.10	Sơ đồ bộ lọc thông thấp bậc 2 cơ bản	56
4.11	Sơ đồ mạch thông thấp Sallen Key (Unity Gain)	57
4.12	Sơ đồ mạch Sallen Key dạng tổng quát	58
4.13	Sơ đồ khối mạch Sallen Key dạng tổng quát	59
4.14	Mạch lọc thông thấp Sallen Key	60
4.15	Mạch lọc thông thấp Sallen Key với điện trở hiệu chỉnh độ lợi	62
4.16	Biến đổi Thevenin	62
4.17	Mạch Sallen Key sau khi biến đổi Thevenin	62
4.18	Sơ đồ mô phỏng mạch LPF Sallen-Key trong proteus	64
4.19	Đáp ứng tần số của bộ lọc LPF Sallen-Key	64
4.20	Sơ đồ mạch Ramp Generator mô tả trong datasheet XR2206	65
4.21	Sơ đồ nguyên lý của mạch Modulator	66
4.22	Cantenna 1	66
4.23	Cantenna 2	67
4.24	Sơ đồ kết nối để đo S_{11} sử dụng VNA	67
4.25	Hệ số S_{11} của anten monopole	68
4.26	Hệ số S_{11} của cantenna 1	68
4.27	Hệ số S_{11} của cantenna 2	69
4.28	Thiết lập kênh truyền cho hai anten mẫu	71
4.29	Thiết lập kênh truyền cho hai anten mẫu trên thực tế	71
4.30	Thay thế anten mẫu bằng cantenna	72
4.31	Thay thế anten mẫu bằng cantenna trên thực tế	72
4.32	Đồ thị bức xạ của cantenna 1 - Phân cực ngang	73
4.33	Đồ thị bức xạ của cantenna 1 - Phân cực dọc	74
4.34	Đồ thị bức xạ của cantenna 2 - Phân cực ngang	75

4.35 Đồ thị bức xạ của antenna 2 - Phân cực dọc	76
4.36 Kiểm tra thông số cách ly (isolation) bằng VNA	77
4.37 Bộ VCO	78
4.38 Quan hệ giữa tần số tổng hợp và giá trị điện áp V_{tune}	79
4.39 Bộ khuếch đại công suất	80
4.40 Bộ khuếch đại nhiễu thấp	80
4.41 Độ lợi theo tần số của bộ LNA ZX60-272LN+	81
4.42 Công suất ngõ ra tại điểm gây 1dB theo tần số của bộ LNA ZX60-272LN+	81
4.43 Hệ số Noise Figure theo tần số của bộ LNA ZX60-272LN+	82
4.44 Bộ chia công suất	82
4.45 Tổng suy hao ở hai port theo tần số của bộ Splitter ZX10-2-42+	83
4.46 Bộ trộn tần	83
4.47 Suy hao trong quá trình chuyển đổi theo tần số của bộ Mixer ZX05-43MH+	84
4.48 Hệ số cách ly LO-RF theo tần số của bộ Mixer ZX05-43MH+	84
4.49 Hệ số cách ly LO-IF theo tần số của bộ Mixer ZX05-43MH+	85
4.50 Schematic của bộ Modulator và Video Amplifier vẽ trên Altium	86
4.51 Layout của bộ Modulator và Video Amplifier vẽ trên Altium	86
4.52 Mô hình 3D của bộ Modulator và Video Amplifier vẽ trên Altium	87
4.53 Hình ảnh thực tế bộ Modulator và Video Amplifier	87
4.54 Dạng sóng tam giác tạo ra từ bộ Modulator	88
4.55 Dạng sóng xung vuông tạo ra từ bộ Modulator	88
4.56 Hình ảnh tổng hợp xung tam giác và xung vuông với cùng độ rộng xung	88
4.57 Điện áp ngõ vào và ngõ ra của mạch Amplifier tại tần số 10 KHz	89
4.58 Điện áp ngõ vào và ngõ ra của mạch Amplifier tại tần số 15 KHz	89
4.59 Điện áp ngõ vào và ngõ ra của mạch Amplifier tại tần số 22 KHz	89
4.60 Đáp ứng tần số thực tế của mạch Video Amplifier	90
4.61 Hệ thống radar hoàn chỉnh với các mức công suất cụ thể	90
4.62 Hệ thống Radar hoàn chỉnh	91
5.1 Sơ đồ giải thuật xử lý tín hiệu đối với hệ thống CW Radar	93
5.2 Thiết lập hệ thống radar xác định vận tốc vật thể	94
5.3 Thu thập dữ liệu về vận tốc của vật thể (xe máy)	94
5.4 Giao diện GUI được thiết xử lý dữ liệu vận tốc thời gian thực	95
5.5 Giao diện GUI xác định vận tốc 10 km/h	96
5.6 Đồ thị Doppler xác định vận tốc 10 km/h trong 25 s	96
5.7 Giao diện GUI xác định vận tốc 20 km/h	97
5.8 Đồ thị Doppler xác định vận tốc 20 km/h trong 25 s	97
5.9 Giao diện GUI xác định vận tốc 30 km/h	98
5.10 Đồ thị Doppler xác định vận tốc 30 km/h trong 25 s	98
5.11 Giao diện GUI xác định vận tốc 40 km/h	99
5.12 Đồ thị Doppler xác định vận tốc 40 km/h trong 25 s	99

5.13	Sơ đồ giải thuật xử lý tín hiệu đối với hệ thống FMCW Radar	101
5.14	Thiết lập hệ thống radar xác định khoảng cách vật thể	102
5.15	Vật thể dùng để xác định khoảng cách	102
5.16	Giao diện GUI được thiết xử lý dữ liệu khoảng cách thời gian thực	103
5.17	Giao diện GUI xác định khoảng cách 2m	104
5.18	Vật thể đặt tại khoảng cách 2m	104
5.19	Giao diện GUI xác định khoảng cách 4m	105
5.20	Vật thể đặt tại khoảng cách 4m	105
5.21	Giao diện GUI xác định khoảng cách 6m	106
5.22	Vật thể đặt tại khoảng cách 6m	106
5.23	Bộ lọc FIR thiết kế trên công cụ FDA toolbox của Matlab ($f_c = 200Hz$	107
5.24	Vật thể đặt tại khoảng cách 2m khi sử dụng bộ lọc ($f_c = 200Hz$)	108
5.25	Vật thể đặt tại khoảng cách 4m khi sử dụng bộ lọc ($f_c = 200Hz$)	109
5.26	Vật thể đặt tại khoảng cách 6m khi sử dụng bộ lọc ($f_c = 200Hz$)	109
5.27	Bộ lọc FIR thiết kế trên công cụ FDA toolbox của Matlab ($f_c = 350Hz$	110
5.28	Vật thể đặt tại khoảng cách 4m khi sử dụng bộ lọc ($f_c = 350Hz$)	110
5.29	Vật thể đặt tại khoảng cách 6m khi sử dụng bộ lọc ($f_c = 30Hz$)	111
5.30	Sơ đồ xử lý dữ liệu với giải thuật Coherent Change Detection	112
5.31	Hình ảnh thu nhận từ vật thể chuyển động khi chưa sử dụng giải thuật CCD . .	113
5.32	Hình ảnh thu nhận từ vật thể chuyển động khi sử dụng giải thuật CCD	113

Danh sách bảng

2.1	RCS của một số vật thể điển hình	16
2.2	Ví dụ về tính toán phương trình Radar	18
2.3	Mối liên hệ giữa PRF và khả năng làm việc của radar phát xung	22
2.4	Các dãy tần số hoạt động của radar theo chuẩn IEEE	26
3.1	Phân tích kết quả ngõ ra từ 2 kênh I và Q	37
3.2	Bảng phân tích kết quả đối với trường hợp vật thể chuyển động - Low Doppler	42
3.3	Bảng phân tích kết quả đối với trường hợp vật thể chuyển động - High Doppler	44
3.4	Bảng phân tích ảnh hưởng của vận tốc vật thể đối với phép đo khoảng cách	46
4.1	Danh sách các module cần thiết cho hệ thống radar	50
4.2	Danh sách các thông số thiết kế cantenna	52
4.3	Danh sách các thông số thiết kế cantenna	63
4.4	Danh sách các thông số thiết kế cantenna	69
4.5	Bảng tính toán giá trị công suất nhận theo phương trình Friss	71
4.6	Các giá trị tham chiếu	71
4.7	Độ lợi của cantenna 1 (Phân cực ngang)	73
4.8	Độ lợi của cantenna 1 (Phân cực dọc)	74
4.9	Độ lợi của cantenna 2 (Phân cực ngang)	75
4.10	Độ lợi của cantenna 2 (Phân cực dọc)	76
4.11	Độ cách ly giữa hai anten	77
4.12	Các thông số đầu vào cung cấp cho VCO	78
4.13	Giá trị đo được từ VCO	79
4.14	Quan hệ giữa điện áp Vtune và tần số ngõ ra bộ VCO	79
4.15	Độ lợi đo được từ các bộ LNA ZX60-272LN+	81
4.16	Độ lợi suy hao đo được từ các port của bộ Splitter ZX10-2-42+	83
4.17	Công suất tín hiệu tại ngõ ra bộ Mixer ZX05-43MH+	85
5.1	Kết quả đo thử nghiệm vận tốc 10 km/h	96
5.2	Kết quả đo thử nghiệm vận tốc 20 km/h	97
5.3	Kết quả đo thử nghiệm vận tốc 30 km/h	98
5.4	Kết quả đo thử nghiệm vận tốc 40 km/h	99
5.5	Tổng hợp số liệu kết quả đo ở các khoảng cách khác nhau	111

Danh mục từ viết tắt

BTS	Base Transceiver Station
BW	Band Width
BWC	British War Council
CCD	Coherent Change Detecion
CF	Continuous Frequency
CL	Conversion Loss
CW	Continuous Wave
DAQ	Data Acquisition Toolbox
DFT	Discrete Fourier Transform
FFT	Fast Fourier Transform
FMCW	Frequency Modulated Continuous Wave
FM	Frequency Modulation
FNBW	First Null Beam Width
GND	Ground
GUI	Graphical User Interface
HF	High Frequency
HPBW	Half Power Beam Width
IF	Intermediate Frequency
IL	Insertion Loss
INF	Input Noise Figure

ISAR	Inverse Synthetic Aperture Radar
ISM	International Safety Management
ITU	International Telecommunication Union
LNA	Low Noise Amplifier
LO	Local Oscillator
MTI	Moving - Target Indication
NF	Noise Figure
PA	Power Amplifier
PRF	Pulse Repetition Frequency
PRP	Pulse Repetition Period
PW	Pulse Width
RADAR	Radio Detection and Ranging
RCS	Radar Cross Section
RF	Radio Frequency
SAR	Synthetic Aperture Radar
SNR	Signal to Noise Ratio
UHF	Ultra High Frequency
VCO	Voltage Controlled Oscillator
VCXO	Voltage Controlled Crystal Oscillator
VHF	Very High Frequency
VNA	Vector Network Analyzer
VSWR	Voltage Standing Wave Ratio

Chương 1

Mở đầu

1.1 Mục đích

Xây dựng một hệ thống Radar hoàn chỉnh có khả năng xác định vận tốc và khoảng cách của vật thể trong tầm hoạt động của radar. Ngoài ra, radar còn có khả năng cải tiến để thực hiện việc tái tạo hình ảnh vật chắn phía trước radar.

1.2 Mục tiêu nghiên cứu

Luận án tập trung vào việc thiết kế toàn bộ khối phần cứng và giải thuật xử lý dữ liệu cho hệ thống radar để thực hiện các chức năng vừa được đề cập với các yêu cầu đặt ra:

- Radar hoạt động ở dãy tần cho phép của ITU đối với Việt Nam.
- Tầm hoạt động ngắn và chi phí thấp.

1.3 Phạm vi nghiên cứu và đối tượng nghiên cứu

1.3.1 Phạm vi nghiên cứu

Phần cứng: Các kiến thức liên quan đến anten và truyền sóng để thiết kế anten, kỹ năng thiết kế phần cứng (tần số thấp) để thiết kế các *module* cần thiết hỗ trợ cho hệ thống và các kiến thức liên quan về lĩnh vực siêu cao tần để tiến hành đo kiểm cũng như xây dựng toàn bộ hệ thống radar hoàn chỉnh.

Phần mềm: Nắm rõ về lý thuyết radar từ đó đưa ra những phương trình toán phù hợp, hiểu rõ các phương pháp xử lý tín hiệu số nhằm lựa chọn phương pháp xử lý tối ưu để xử lý dữ liệu cho hệ thống, kỹ năng lập trình MATLAB với các công cụ hỗ trợ và thiết kế giao diện GUI từ đó thiết kế giải thuật xử lý dữ liệu thời gian thực cho hệ thống radar.

1.3.2 Đối tượng nghiên cứu

- Các hệ thống radar trên thực tế.
- Nguyên lý và các phương pháp xử lý dữ liệu tương ứng với các loại radar.
- Các phương trình radar liên quan đến đặc tính lan truyền và phản xạ của sóng điện từ trong không gian tự do.
- Các phương trình toán học liên quan đến giải thuật xác định vận tốc và khoảng cách vật thể.
- Các bộ phận chính cấu tạo nên một hệ thống radar hoàn chỉnh.

1.4 Phương pháp nghiên cứu

Xây dựng một hệ thống radar hoàn chỉnh, đo kiểm các thông số cần thiết sau đó thử nghiệm các phép đo trên thực tế và đánh giá sai số của toàn bộ hệ thống.

1.5 Các đóng góp chính

Luận án xây dựng hoàn chỉnh một hệ thống radar với những tính năng được đề cập ở mục [1.1](#) và đạt những yêu cầu đặt ra ở mục [1.2](#).

1.6 Cấu trúc luận văn

Cấu trúc của luận án được trình bày bao gồm sáu chương:

Chương *MỞ ĐẦU* trình bày khái quát về mục đích, đối tượng, phạm vi nghiên cứu và các đóng góp chính của luận án này.

Chương 2 trình bày tổng quan về các hệ thống radar trên thực tế với lịch sử hình thành, nguyên lý cơ bản, các bộ phận cơ bản của một hệ thống radar. Ngoài ra, chương 2 còn trình bày về phương trình radar, các dãy tần số hoạt động cũng như ứng dụng của các loại radar.

Chương 3 đi sâu vào việc phân tích mục đích và yêu cầu đối với hệ thống radar cần thiết kế từ đó tham chiếu với các hệ thống radar được trình bày ở chương 2 chọn lựa và đưa ra những phương trình toán phù hợp.

Chương 4 trình bày chi tiết về quá trình thiết kế toàn bộ khối phần cứng cho hệ thống radar bao gồm hệ thống anten, khối thu và phát tín hiệu cao tần, khối điều chế, khối lọc và khuếch đại tín hiệu dựa nền với các bước phân tích, tính toán, mô phỏng và đo kiểm cần thiết.

Chương 5 trình bày chi tiết giải thuật xử lý dữ liệu thời gian thực đối với mỗi phép đo, từ đó tiến hành thử nghiệm trên thực tế và đánh giá sai số.

Cuối cùng, chương 6 là phần kết luận chung về những điều đạt được và chưa đạt được đối với hệ thống radar được thiết kế từ đó đưa ra những hướng phát triển mới cho đề tài luận án này.

Chương 2

Giới thiệu tổng quan về các hệ thống Radar

2.1 Tổng quan về Radar

Thuật ngữ RADAR nguyên là chữ viết tắt của cụm từ "**R**adio **D**etection and **R**anging" nghĩa là phát hiện và đo khoảng cách bằng sóng vô tuyến điện.

Radar là một thiết bị được phát triển trong quân đội có khả năng thu và phát sóng điện từ giúp phát hiện các vật thể chuyển động hoặc không chuyển động trong tầm hoạt động của nó. Với sự xuất hiện của radar, lần đầu tiên con người đã có khả năng quan sát xa hơn tầm nhìn thẳng của mắt người. Radar còn cho phép nhìn xuyên qua các vật cản như khói, bụi, mây, mưa, tán lá và nhất là tạo khả năng quan trắc trong mọi thời tiết, suốt ngày đêm.

Trong thế chiến thứ II, khái niệm về Radar đã trở nên quen thuộc và được biết đến như một thiết bị thiết yếu sử dụng trong quân đội giúp các bên tham chiến có thể phát hiện các vật thể chuyển động hoặc sự xâm nhập bất hợp pháp từ phía kẻ thù.

Radar là thiết bị không thể thiếu trong việc kiểm soát không lưu hiện nay, đã được nhà khoa học người Scotland - Robert Watson Watt phát minh cách đây gần 100 năm.

Radar thuộc loại phương tiện quan trắc, định vị dựa trên hiện tượng phản xạ của sóng điện từ khi gặp vật cản trên đường truyền sóng.

Cùng với sự phát triển của khoa học và kỹ thuật, radar nhờ đó cũng liên tục được cải tiến và phát triển để phục vụ không chỉ cho mục đích quân sự mà còn cho các mục đích dân sự. Ngày nay, với những tính năng ưu việt, radar vẫn đóng vai trò là một giám sát viên chuyên nghiệp được dùng trên các loại tàu hàng hải, máy bay,.. hoặc dùng trong việc dự báo thời tiết, kiểm tra tốc độ của các phương tiện giao thông,... từ đó đi sâu vào phục vụ đời sống con người. Cùng nhìn lại những giai đoạn lịch sử hình thành và phát triển của radar sẽ cho ta có cái nhìn rõ nét hơn về thiết bị này.

2.1.1 Lịch sử ra đời và phát triển của Radar

Những giai đoạn lịch sử của radar từ những khám phá đầu tiên về lý thuyết trường điện từ cho đến rất nhiều thử nghiệm radar trên thực tế kéo dài từ thế kỷ 19 cho đến tận đầu thế kỷ 20 trước khi nó được nghiên cứu và phát triển mạnh mẽ trong và sau thế chiến thứ 2.

Năm 1842, Christian Andreas Doppler công bố phát hiện của mình về sóng âm. Ông nhận thấy rằng khi một nguồn âm di chuyển lại gần một nguồn thu âm đứng yên thì nguồn thu âm đó thu được tín hiệu âm thanh có tần số cao hơn tần số của nguồn và ngược lại khi nguồn âm di chuyển ra xa nguồn thu âm đứng yên thì nguồn thu âm đó thu được tín hiệu âm thanh có tần số thấp hơn tần số của nguồn. Hiện tượng trên cũng được chứng minh đúng với sóng điện từ và còn được gọi là hiệu ứng Doppler. [1]

Năm 1864, các phương trình về lý thuyết điện từ được đưa ra bởi James Clark Maxwell hay còn gọi là phương trình Maxwell. [2]

Năm 1886, những lý thuyết của Maxwell được thử nghiệm trên thực tế và được Heinrich Hertz chứng minh những lý thuyết trên đúng với cả sóng điện từ và sóng ánh sáng. [3]

Năm 1888, Heinrich Hertz chứng minh rằng sóng vô tuyến có thể bị phản xạ khi gặp các vật thể kim loại hoặc các vật liệu điện môi. [3]

Những năm 1900, nhà phát minh Nikola Tesla đã đưa ra ý tưởng về những thiết bị giống radar. [4]

Những thử nghiệm phát hiện vật thể với sóng vô tuyến (radio wave) đầu tiên được thực hiện vào năm 1904 bởi nhà phát minh người Đức Christian Hülsmeyer. Ông đã chứng minh khả năng phát hiện một con tàu trong điều kiện sương mù dày đặc nhưng không thể xác định khoảng cách so với máy phát. Ông được cấp bằng sáng chế cho phát minh này vào tháng 4/1904 và sáng chế sau đó đã được Hülsmeyer cải tiến với khả năng ước lượng khoảng cách đến con tàu. [5]

Năm 1922, Guglielmo Marconi chứng minh rằng có thể phát hiện được những chiếc tàu trên biển và truyền thông xuyên qua các lục địa bằng sóng vô tuyến [6]. Cùng thời điểm đó, Albert Hoyt Taylor và Leo C. Young đã sử dụng CW (Continuous Wave) Radar để phát hiện một con tàu bằng gỗ trên biển. [7]

Trong suốt những năm 1920 đến 1930, Mỹ, Đức, Pháp, Liên Xô và đặc biệt là Anh đã tập trung nghiên cứu về radar và công nghệ này được xem là một bí mật quân sự. Tuy nhiên, mặc dù đã bỏ ra rất nhiều thời gian nghiên cứu nhưng những hệ thống radar tốt nhất lúc bấy giờ chỉ có thể cung cấp thông tin về phương hướng của những vật thể lớn xuất hiện trong một khoảng cách gần. Những thông số về khoảng cách và độ cao so với mặt biển vẫn chưa thể tính toán được.

Robert Watson Watt - một nhà cổ vấn khoa học trong lĩnh vực truyền thông đã được mời đến Ban chiến tranh của Anh (BWC - British War Council) để đánh giá về một chùm tia chết (death ray - trên lý thuyết là một chùm hạt hay một loại vũ khí điện từ). Tại đây ông đã phát minh ra một thiết bị radar hoàn chỉnh, sử dụng trong quân sự và ngày 26/2/1935, phát minh này của ông được cấp bằng sáng chế. [8]

Ngay sau khi ra đời, radar đã phát huy tác dụng chiến lược của nó trong trận không chiến

tại Anh diễn ra năm 1940. Mặc dù chỉ có cự ly hoạt động trong 10 dặm (16 km) nhưng hệ thống đã có độ phân giải đủ lớn để có thể phát hiện một máy bay ném bom hay tiêm kích đang đến gần. Quan trọng hơn, hệ thống đã được sử dụng để chỉ dẫn cho các máy bay tiêm kích của Anh chống lại không quân Đức ngay từ mặt đất trong khi máy bay Đức phải tìm kiếm mục tiêu trên không.

Bước đột phá thật sự chỉ xuất hiện khi một hệ thống radar nhận dạng hiện đại được tạo ra nhờ phát minh của sóng cực ngắn (vi ba) sử dụng trong nhà hay chính xác là từ thiết bị tạo ra sóng vi ba - magnetron. Magnetron được phát minh bởi John Randall và Harry Boot vào năm 1940 tại đại học Birmingham [9], tuy vậy cự ly của radar vẫn chưa lớn, chỉ hơn 80 km.

Radar ngày nay đã phát triển đa dạng ở nhiều dải sóng khác nhau như sóng âm, sóng vô tuyến điện, quang học và lazer. Bên cạnh các siêu radar khổng lồ, các radar siêu mini cũng được chế tạo trước hết dùng cho các vật bay do thám siêu nhỏ. Mỗi hệ thống được thiết kế riêng cho từng nhiệm vụ khác nhau. Thêm vào đó, những cải tiến về công nghệ có thể thay đổi cách thức hoạt động của một hệ thống radar.

Cùng với sự phát triển mạnh mẽ của các ngành khoa học kỹ thuật điện tử, công nghệ thông tin, ngành cơ - điện tử, vật liệu mới, tự động hóa, công nghệ nano... Radar ngày nay cũng đã được đổi mới và phát triển đa dạng với nhiều dải sóng khác nhau. Radar cũng được thiết kế và triển khai cả ở trong các ứng dụng dân dụng.

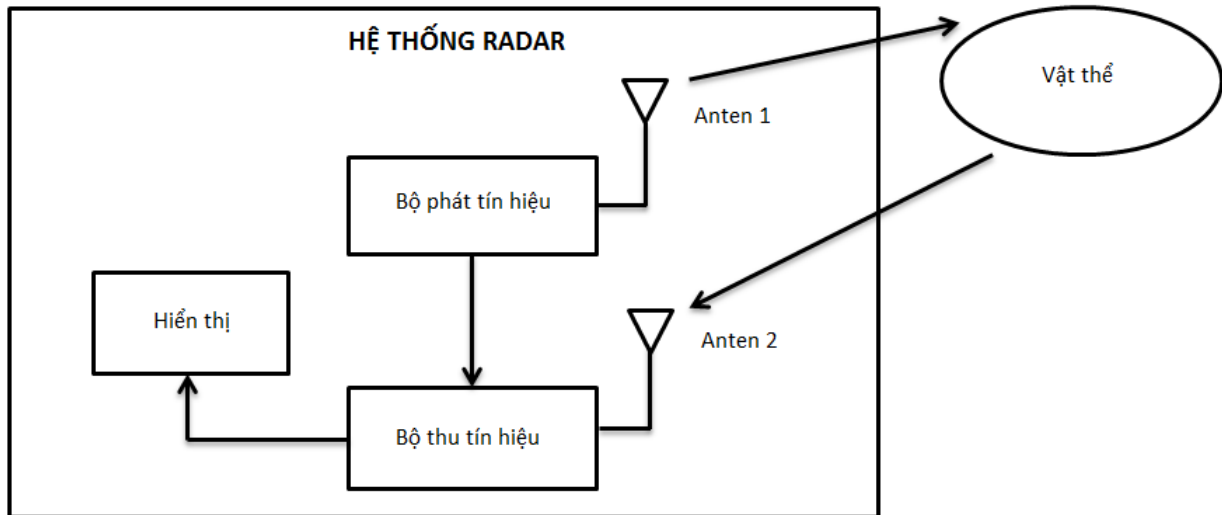
2.1.2 Nguyên lý cơ bản của Radar

Radar hoạt động dựa trên sự bức xạ và phản xạ của sóng điện từ trong không gian. Sóng điện từ lan truyền trong không gian theo đường thẳng và với tốc độ xấp xỉ bằng với tốc độ ánh sáng trong chân không ($3 \cdot 10^8 m/s$). Cụ thể, radar tạo ra một lượng năng lượng điện từ bức xạ vào không gian và phân tích năng lượng điện từ phản xạ ngược trở về từ vật chắn trong tầm hoạt động của nó. Lấy một ví dụ đơn giản, khi ta đứng trong một hang động ta có thể nghe được tiếng vọng của mình từ vách của hang động hoặc việc con dơi có khả năng dò tìm đường đi của nó bằng cách phân tích sóng siêu âm phản xạ lại do chính nó phát ra, cơ bản cho ta nguyên lý hoạt động của radar.

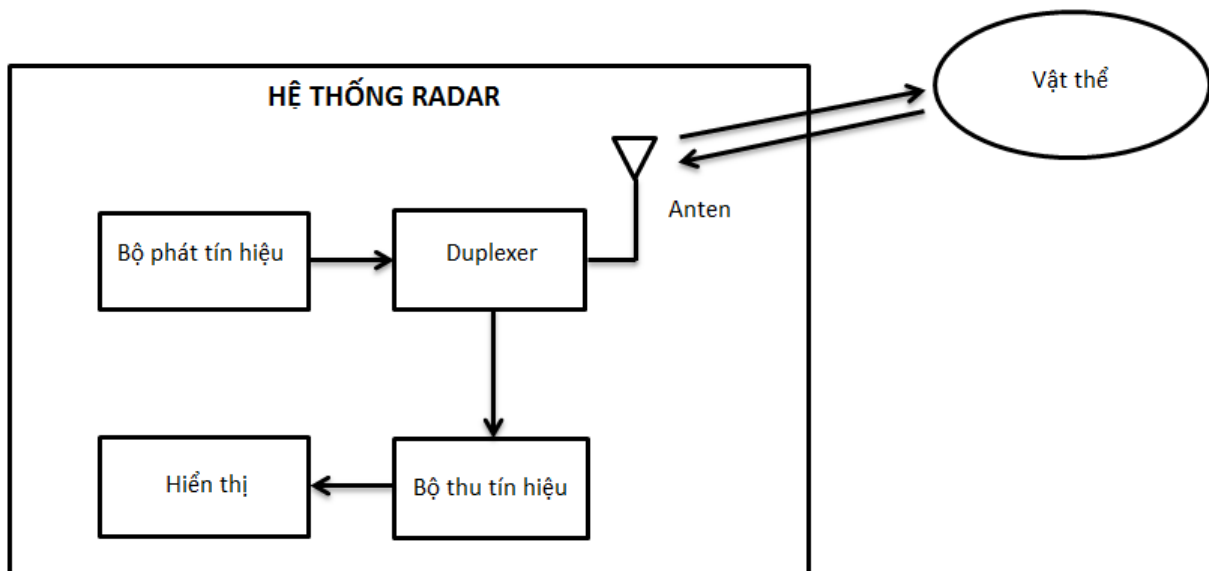
Một hệ thống radar đơn giản được minh họa ở hình 2.1. Hệ thống radar trên bao gồm một bộ phát, một bộ thu và 2 anten có nhiệm vụ bức xạ năng lượng điện từ ở phía phát (Transmitter) và thu nhận năng lượng điện từ phản xạ lại từ vật thể ở phía thu (Receiver). Cụ thể, hệ thống sẽ tạo ra tín hiệu RF (Radio Frequency - vô tuyến) ở phía bộ phát và bức xạ ra không gian nhờ anten ở phía phát. Tín hiệu trên khi gặp vật chắn sẽ bị phản xạ lại, tuy nhiên theo nhiều hướng khác nhau trong đó sẽ có những tín hiệu phản xạ lại về phía anten thu. Từ đó, anten ở phía thu sẽ thu nhận tín hiệu phản xạ lại rồi chuyển sang bộ thu, bộ thu sẽ phân tích sự sai biệt giữa tín hiệu phát và tín hiệu thu để đưa ra những thông tin về khoảng cách, vận tốc, hướng di chuyển của vật thể, ...

Một cải tiến cho hệ thống radar ở trên đó là thay vì sử dụng 2 anten (1 cho phía phát và 1 cho phía thu) hệ thống radar ở hình 2.2 chỉ sử dụng 1 anten cho việc thu và phát. Tuy nhiên với hệ thống này, do chỉ sử dụng 1 anten nên cần phải cách ly tín hiệu phát và tín hiệu thu

người ta dùng thêm một bộ duplexer cho anten, từ đó giảm được sự chồng kênh của hệ thống này so với hệ thống sử dụng 2 anten ở trên. Ngoài ra duplexer còn giúp bảo vệ bộ thu khỏi những tín hiệu công suất lớn từ bộ phát. Ở phần tiếp theo chúng ta sẽ cùng tìm hiểu chi tiết chức năng và nhiệm vụ của những bộ phận cấu thành nên một hệ thống radar.



Hình 2.1: Hệ thống Radar cơ bản

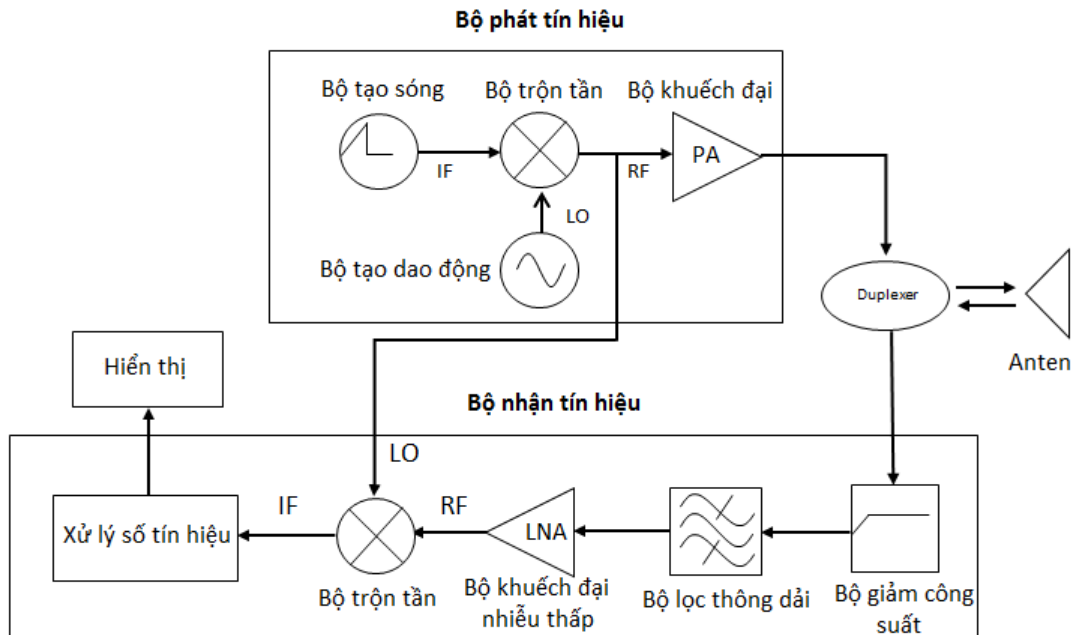


Hình 2.2: Hệ thống Radar với Duplexer

2.2 Các thành phần cơ bản của Radar

Như đã đề cập ở phần trước, một hệ thống radar cơ bản bao gồm một bộ phát, một bộ thu và hệ thống anten thu, phát. Hình 2.3 minh họa một hệ thống radar với các bộ phận cơ bản mang

những chức năng đặc trưng. Sau đây chúng ta sẽ cùng làm rõ chức năng của các bộ phận riêng biệt trong radar.



Hình 2.3: Sơ đồ khối của một hệ thống Radar đơn giản

2.2.1 Anten

Trong hệ thống radar, anten đóng vai trò là bộ phận tương tác giữa chính hệ thống đó với tất cả các loại sóng điện từ có mặt trong không gian. Nhờ đó, anten hoạt động như một bộ phận truyền dẫn, lan truyền và định hướng bức xạ năng lượng điện từ ra không gian cũng như thu nhận sóng điện từ phản hồi từ vật thể.

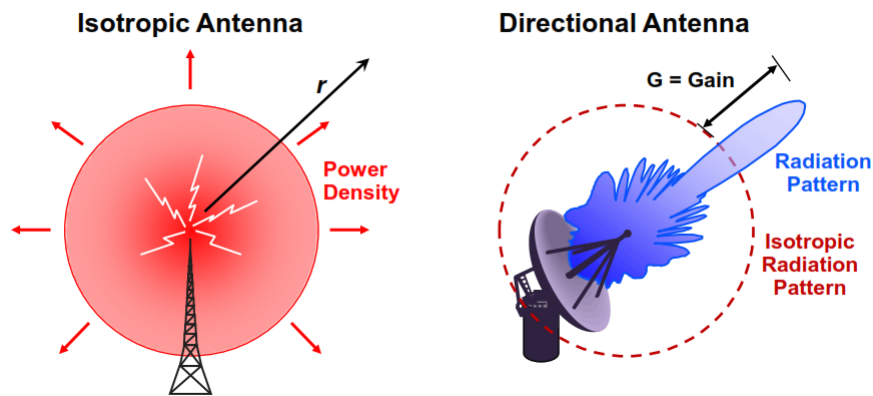
Trong thiết kế anten, có rất nhiều thông số được quan tâm chẳng hạn như: đồ thị bức xạ của anten (Radiation Pattern), mật độ công suất bức xạ (W), cường độ bức xạ (U), beamwidth (Half Power Beamwidth - HPBW, First Null Beamwidth - FNBW), độ định hướng (D), độ lợi (Gain), hiệu suất (Antenna Efficiency), băng thông (Bandwidth) và cuối cùng là tính phân cực của anten (Polarization) (chương 2, [10]). Tuy nhiên, để đánh giá nhanh một anten người ta thường dựa vào 2 thông số đó là độ lợi và đồ thị bức xạ.

Nhìn vào hình 2.4 ta thấy rằng, độ lợi của một anten được hiểu là sự chênh lệch về cường độ bức xạ của chính anten đó so với anten có đồ thị bức xạ đẳng hướng (*isotropic*).

Có hai loại anten thường được dùng trong hệ thống radar đó là anten loa và anten chảo parabol sẽ được đề cập ở phần tiếp theo.

2.2.1.1 Anten loa (Horn Antenna)

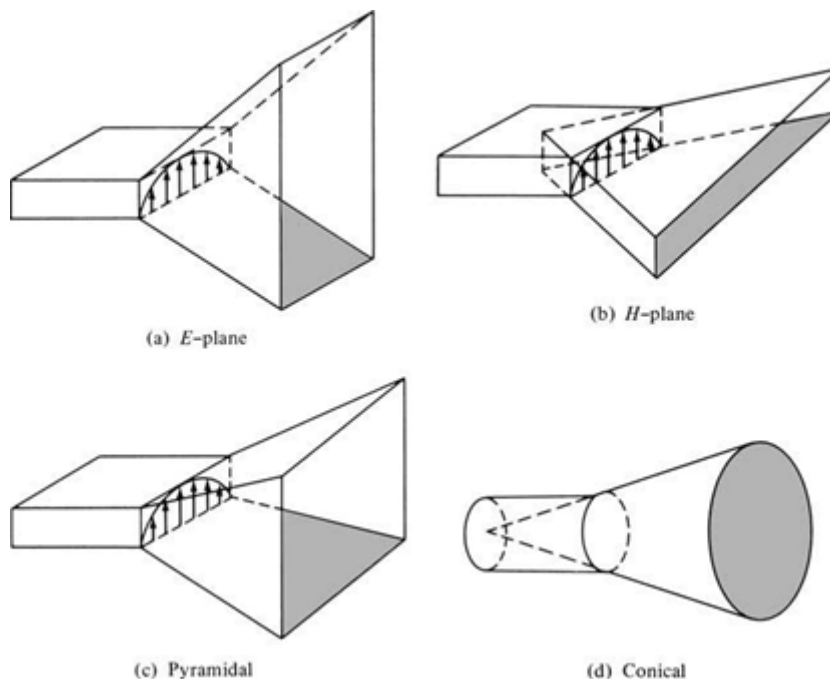
Anten loa thường được sử dụng để trong việc truyền và nhận tín hiệu RF (vô tuyến) hoặc được dùng như là *feeder* trong anten parabol.



Hình 2.4: Định nghĩa về độ lợi của anten
(MIT Open CourseWare, [11])

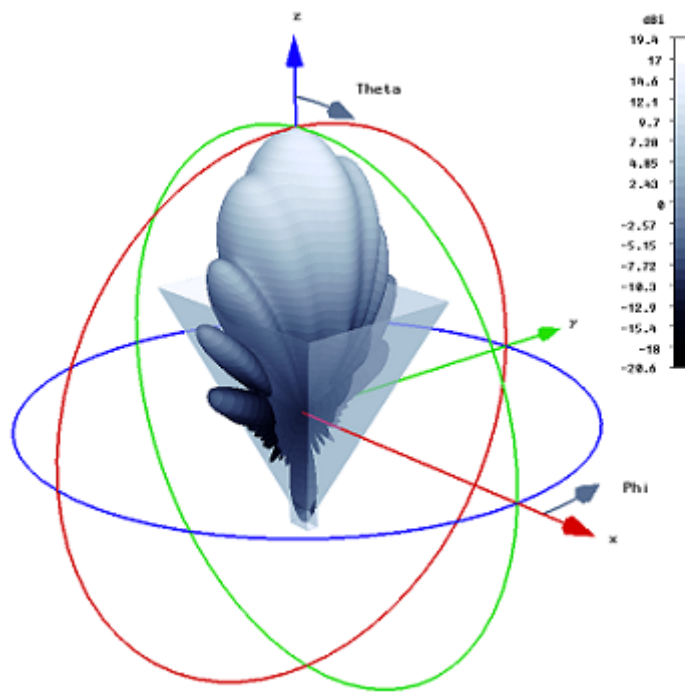
Hình dạng điển hình của một anten loa đó là bề mặt định hướng sóng dạng loa ra giống như một cái loa (horn) cho phép sóng bức xạ từ anten ra không gian tự do theo một hướng xác định.

Có 4 loại anten loa được mô tả ở hình 2.5



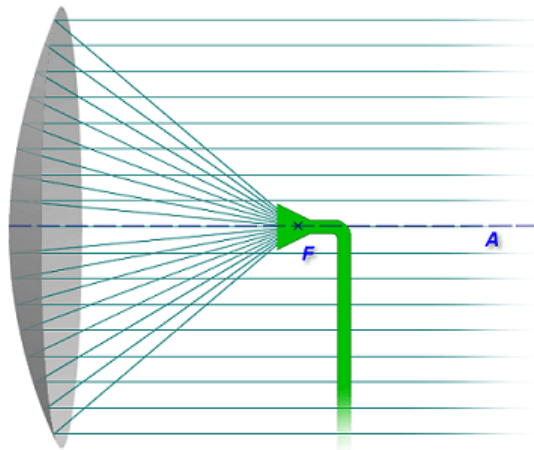
Hình 2.5: Các dạng cấu hình cơ bản của anten horn
(Hình 13.1, trang 740, [10])

Với cấu trúc khá đơn giản, anten loa thường được sử dụng ở băng tần UHF (300MHz - 3GHz) hoặc thậm chí còn cao hơn nữa. Anten loa thường có dạng đồ thị bức xạ định hướng cao (Hình 2.6) với độ lợi lớn có thể lên đến 25 dB, tuy nhiên thường thì độ lợi nằm trong khoảng 10 - 20 dB. Đặc biệt anten loa còn có băng thông rất lớn từ đó nâng cao hiệu suất hoạt động của anten ở các dãy tần khác nhau.



Hình 2.6: Đồ thị bức xạ 3D của một anten horn
(Hình 1.8, trang 11, [12])

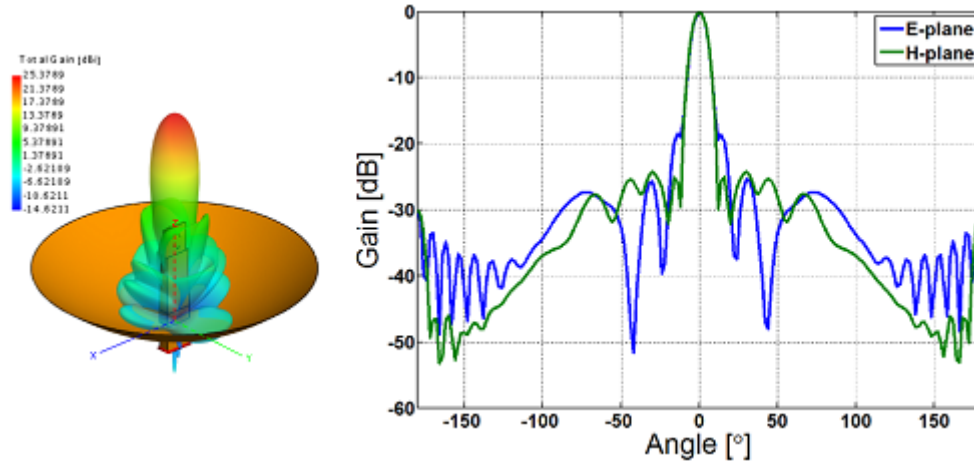
2.2.1.2 Anten chảo parabol (Parabol Antenna)



Hình 2.7: Anten parabol

Hình 2.7 mô tả một anten parabol thường gặp trong thực tế với cấu trúc gồm một bề mặt phản xạ hình parabol (reflector) - còn gọi là chảo parabol - và một nguồn phát sóng điện từ gọi là *feeder* (thường là anten *dipole*). Vật liệu tạo nên bộ phản xạ thường là một tấm lưới kim loại với kích thước của những lỗ lưới đó phải nhỏ hơn $\lambda/10$. Chính tấm lưới đó tạo nên bề mặt phản xạ cho sóng điện từ tựa như một tấm gương phản xạ ánh sáng hình parabol. Từ đó, nâng cao được tính định hướng và độ lợi của anten lên rất nhiều. Thông thường, với cùng một công suất phát thì anten parabol có thể cho độ lợi lớn nhất và với búp sóng hẹp nhất. Để tạo nên

búp sóng hẹp, bề mặt phản xạ phải lớn hơn rất nhiều so với chiều dài bước sóng do đó anten parabol thường được sử dụng cho các dãy tần số cao (UHF hoặc SHF).



Hình 2.8: Đồ thị bức xạ của anten parabol

2.2.2 Duplexer

Như đã trình bày ở phần trên, duplexer được sử dụng trong trường hợp chỉ dùng 1 anten cho cả việc thu và phát tín hiệu. Có 2 yêu cầu được đưa ra mà một bộ duplexer cần thỏa mãn:

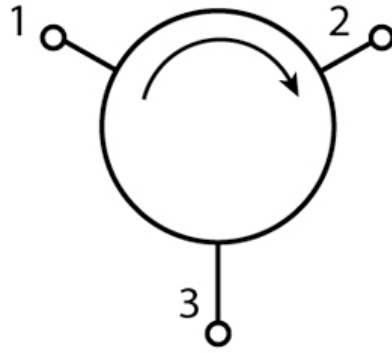
Thứ nhất: Cách ly bộ thu khỏi những tín hiệu công suất lớn ở bộ phát để tránh phá hủy các bộ phận ở phía thu

Thứ hai: Đảm bảo quá trình truyền và nhận được xảy ra liên tục trên cùng một anten.

Trên thực tế, bộ duplexer thường dùng chính là circulator - một hệ thống mạng 3 cửa được mô tả ở hình 2.9 và với ma trận S như sau:

$$S = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Giả sử ta mắc anten vào cổng (port) 2 của bộ circulator, tín hiệu ngõ ra của bộ phát được mắc vào cổng 1 và tín hiệu ngõ vào của bộ thu sẽ mắc vào port 3 của bộ circulator. Một cách lý tưởng, nhìn vào ma trận S ta thấy rằng khi có tín hiệu từ cổng 1 (từ bộ phát) tín hiệu đó sẽ được đẩy vào anten và bức xạ ra không gian đồng thời không có tín hiệu vào cổng 3. Tương tự, nếu có một tín hiệu lọt vào anten (port 2), tín hiệu đó sẽ được chuyển vào cổng 3 của bộ circulator đồng thời cách ly tín hiệu đó với cổng 1. Tuy nhiên, trên thực tế tín hiệu sẽ không được cách ly hoàn toàn mà vẫn tồn tại một lượng suy hao khoảng 0.1 - 0.5 dB.

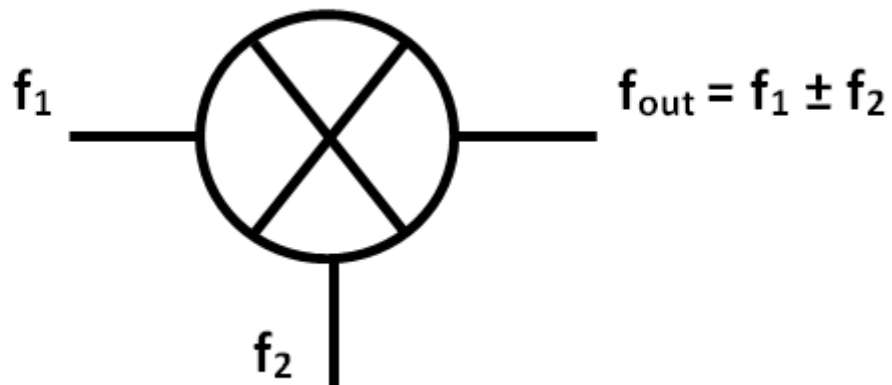


Hình 2.9: Sơ đồ khối của bộ circulator

2.2.3 Bộ trộn tần (Mixer)

Mixer hay còn gọi là bộ trộn tần được sử dụng để chuyển đổi tần số của tín hiệu vào thành một tín hiệu có cùng dạng với tín hiệu ban đầu nhưng ở một tần số khác, có thể cao hơn hoặc thấp hơn tần số ban đầu.

Thông thường, người ta thường chuyển tín hiệu từ trung tần (IF) sang tín hiệu cao tần (RF) và ngược lại tùy thuộc vào mục đích của người thiết kế và sử dụng hệ thống đó. [13]

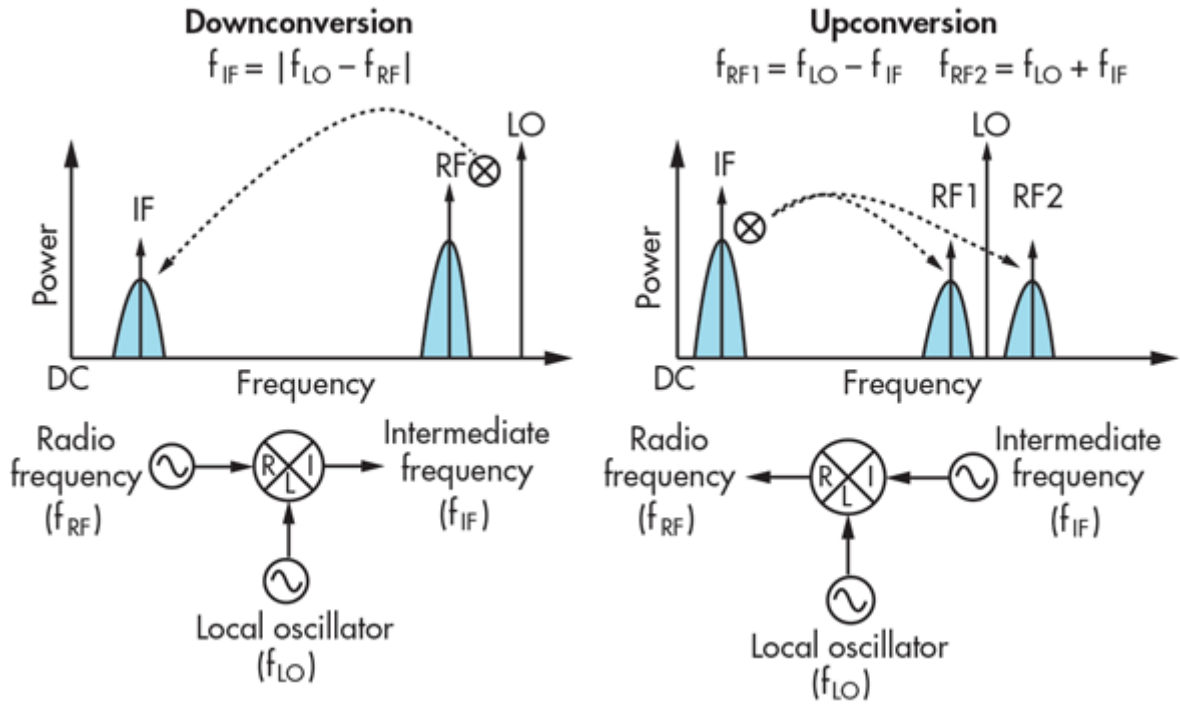


Hình 2.10: Sơ đồ khối của bộ mixer

Nhìn vào hình 2.10 ta thấy rằng, mixer hoạt động như một bộ nhân tín hiệu giữa hai port đầu vào từ đó tạo ra tín hiệu ngõ ra với 2 tần số: $f_1 \pm f_2$

$$\cos(f_1) * \cos(f_2) = \frac{1}{2} [\cos(f_1 - f_2) + \cos(f_1 + f_2)]. \quad (2.1)$$

Quan sát hình 2.11 ta thấy:



Hình 2.11: Cách thức chuyển tần lên và xuống của mixer

Việc chuyển tần lên hoặc xuống phải thông qua một tín hiệu từ oscillator với tần số f_{LO} . Do đó, tín hiệu từ oscillator chỉ được phép là tín hiệu đầu vào của mixer, còn port RF và IF có thể chuyển đổi vai trò cho nhau hoặc là đầu vào thứ hai của mixer hoặc là ngõ ra của mixer.

Đối với chuyển tần xuống, tín hiệu đầu vào thứ hai chính là tín hiệu RF và tín hiệu ở ngõ ra sẽ là tín hiệu IF, với $f_{IF} = |f_{LO} - f_{RF}|$. Ngược lại, đối với chuyển tần lên thì tín hiệu đầu vào thứ hai chính là tín hiệu IF và tín hiệu ngõ ra sẽ là tín hiệu RF, với $f_{RF1} = f_{LO} - f_{IF}$ và $f_{RF2} = f_{LO} + f_{IF}$.

Trong thực tế người ta thường sử dụng mixer kết hợp với một bộ lọc để chọn lọc tần số mong muốn ở trung tần hoặc cao tần. Như ta đã biết, tín hiệu ở ngõ ra bộ mixer tồn tại ở hai tần số như đã đề cập ở phương trình 2.1. Do đó, đối với việc chuyển tần xuống, để lấy được tín hiệu trung tần ta phải sử dụng bộ lọc thông thấp (LPF) để loại bỏ tín hiệu không mong muốn $f_{out} = f_{LO} + f_{IF}$. Tương tự, đối với việc chuyển tần lên ta phải sử dụng bộ lọc thông dải (BPF) để chọn lọc tín hiệu mong muốn hoặc là f_{RF1} hoặc f_{RF2} .

2.2.4 Bộ tạo dao động (Oscillator)

Dao động và tổng hợp tần số là phần rất quan trọng trong lĩnh vực truyền thông vô tuyến. Mạch dao động biến đổi năng lượng điện một chiều thành tín hiệu xoay chiều dùng làm sóng mang trực tiếp hoặc thông qua mixer để đổi tần các tín hiệu từ IF lên RF hoặc ngược lại.

Có nhiều kiểu mạch dao động như:

- Mạch dao động LC: clapp, colpitt, hartley, Pierce,...
- Mạch dao động thạch anh: song song, nối tiếp, tinh chỉnh tần số cộng hưởng,...

- VCO và VCXO

Trong đó, VCO và VCXO được sử dụng trong nhiều ứng dụng đặc biệt là trong phần thiết kế radar ở chương 3 do nó có thể thay đổi tần số trong một khoảng xác định tùy thuộc vào giá trị điện áp DC đặt vào chân varicap (V_{tune}) của mạch VCO hoặc VCXO.

2.2.5 Bộ khuếch đại công suất (Power Amplifier)

Bộ khuếch đại công suất thường được dùng để nâng mức công suất tín hiệu RF từ mức thấp sang một mức cao hơn tùy thuộc vào độ lợi của bộ khuếch đại đó. Trong radar bộ khuếch đại công suất được dùng ở phía phát để nâng cao mức công suất cho tín hiệu phát từ đó nâng cao được tầm hoạt động của radar. Bộ khuếch đại công suất phải thỏa mãn các yêu cầu như: hiệu suất cao, ít sai dạng tín hiệu và độ chọn lọc tần số cao.

2.2.6 Bộ khuếch đại nhiễu thấp (Low Noise Amplifier)

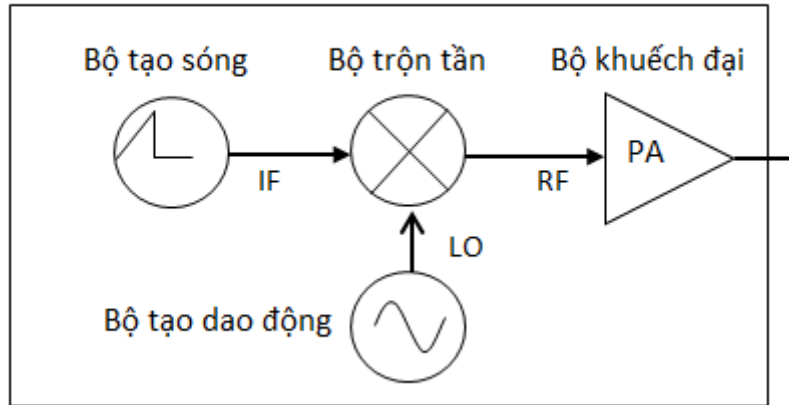
Nhiều là tín hiệu không mong muốn, xuất hiện từ nhiều nguồn khác nhau chèn vào tín hiệu hữu ích làm giảm chất lượng tín hiệu thu dẫn đến sai lệch thông tin. Chất lượng thu của hệ thống được đánh giá theo hệ số SNR (tỷ số mức tín hiệu trên nhiễu) chỉ sự tương quan độ mạnh của tín hiệu so với nhiễu. Mức tín hiệu thu được từ anten thường rất nhỏ và đã bao gồm nhiễu từ môi trường truyền, nếu tín hiệu đó được khuếch đại trong một môi trường nhiễu cao sẽ dẫn đến mức tín hiệu trên nhiễu giảm xuống từ đó giảm đáng kể lượng thông tin ta thu nhận được, đôi khi làm sai lệch hoặc mất thông tin.

Bộ khuếch đại nhiễu thấp được dùng để nâng cao mức tín hiệu với ít nhất có thể lượng nhiễu được cộng vào tín hiệu tùy thuộc vào chất lượng thiết kế. Trong radar, bộ khuếch đại nhiễu thấp được dùng như một bộ tiền khuếch đại cho tín hiệu ở phía phát cũng như là bộ khuếch đại công suất cho tín hiệu ở phía thu. Đối với bộ khuếch đại nhiễu thấp, thông số được quan tâm đó là "Input Noise Figure" đặc trưng cho lượng nhiễu cộng vào tín hiệu sau khi khuếch đại. Bộ khuếch đại lý tưởng sẽ có hệ số $INF = 0$ dB, tuy nhiên trong thực tế không bao giờ đạt được như vậy, thông thường hệ số $INF < 3$ dB được xem là tốt và $INF < 1.2$ dB được xem là rất tốt.

2.2.7 Bộ phát radar

Mô hình phát sóng radar cơ bản được minh họa ở hình 2.12. Trong đó, hệ thống phát bao gồm một bộ tạo sóng tín hiệu ở dải nền (Waveform Generator) kết hợp với bộ trộn tần (Mixer) và bộ tạo dao động (Oscillator) từ đó đưa tín hiệu lên dây tần số mong muốn sau đó được khuếch đại lên nhờ bộ khuếch đại công suất (PA) và truyền đến anten bức xạ ra không gian tự do.

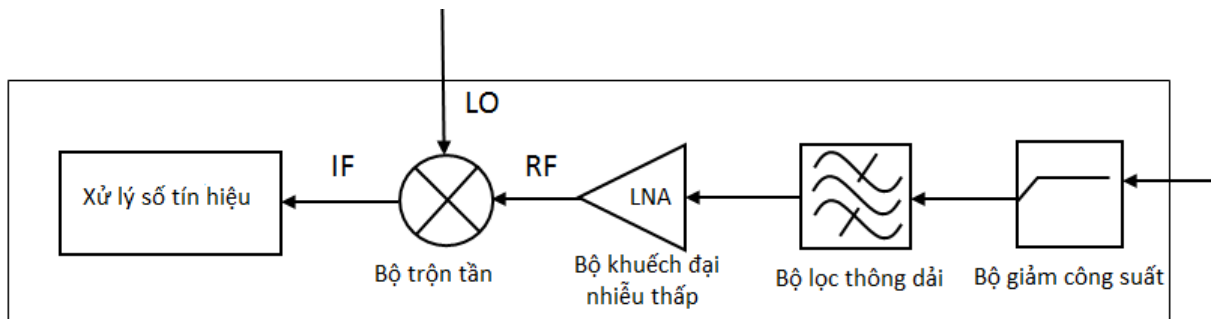
Câu hỏi đặt ra ở đây đó là vì sao phải chuyển tần số lên cao mà không phát trực tiếp tín hiệu ở dải nền ra không gian tự do?



Hình 2.12: Mô hình bộ phát tín hiệu radar cơ bản

Chúng ta biết rằng, kích thước anten phụ thuộc trực tiếp với bước sóng tín hiệu, việc đổi tần số lên cao đó là giúp ta thu nhỏ được kích thước của anten đặc biệt là đối với các hệ thống radar sử dụng mảng anten cho việc thu, phát tín hiệu. Ngoài ra, việc chuyển tần số lên cao nhằm giúp ta tận dụng hết dãy phổ sóng điện từ. Tuy nhiên, việc đưa tín hiệu lên tần số cao dẫn đến mức suy hao của tín hiệu trong quá trình lan truyền càng lớn, do đó tùy theo mục đích và yêu cầu của từng hệ thống mà ta lựa chọn tần số phù hợp.

2.2.8 Bộ thu radar



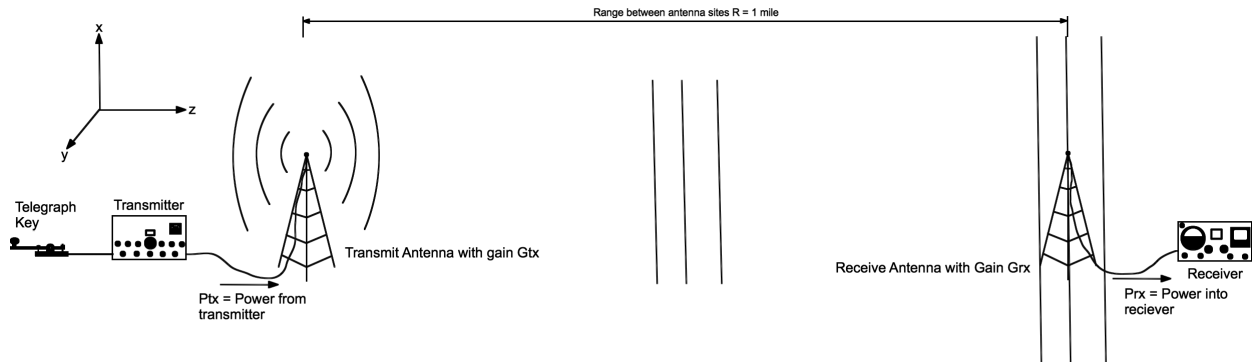
Hình 2.13: Mô hình bộ thu tín hiệu radar cơ bản

Hình 2.13 minh họa một mô hình thu tín hiệu radar cơ bản. Cũng tương tự như ở phía phát, ở phía thu ta cũng sử dụng một bộ khuếch đại công suất để khuếch đại tín hiệu. Tuy nhiên, điểm khác biệt là trước khi qua tầng khuếch đại công suất, tín hiệu phải đi qua bộ limiter để hạn chế những tín hiệu công suất lớn có thể gây phá hủy các bộ phận phía thu. Đặc biệt, tín hiệu được đi qua bộ lọc thông dải để nâng cao tính chọn lọc tín hiệu sau đó được đưa qua bộ khuếch đại nhiễu thấp - đã được nói ở trên - nhằm hạn chế tối đa mức công suất nhiễu cộng vào tín hiệu sau khi được khuếch đại. Tín hiệu sau khi được khuếch đại được trộn với tín hiệu ở phía phát thông qua bộ trộn tần để thu được thông tin sai lệch giữa tín hiệu thu và phát. Tín hiệu mang thông tin được chuyển vào bộ xử lý tín hiệu để phân tích và trả về kết quả tùy

theo mục đích sử dụng của radar đó. Thông thường, tín hiệu trước khi xử lý được cho qua một bộ lọc thông thấp bên trong bộ xử lý tín hiệu để chọn tín hiệu một lần nữa nhằm hạn chế xử lý thông tin của những tín hiệu không cần thiết.

2.3 Phương trình Radar

2.3.1 Phương trình Friis



Hình 2.14: Mô hình truyền sóng trong không gian tự do
(Hình 1.11, trang 14, [12])

Phương trình Friis được dùng để ước lượng công suất được truyền từ anten phát đến anten thu thông qua không gian tự do với một mức công suất cho trước P_t . Đặc biệt, phương trình Friis được sử dụng nhiều trong việc thiết kế tuyến liên lạc vệ tinh và viba [10].

$$P_r = P_t \left(\frac{\lambda}{4\pi R} \right)^2 G_t G_r. \quad (2.2)$$

Trong đó:

P_t : Công suất bức xạ tại anten phát

P_r : Công suất nhận được từ anten thu

G_t : Độ lợi anten phát

G_r : Độ lợi anten thu

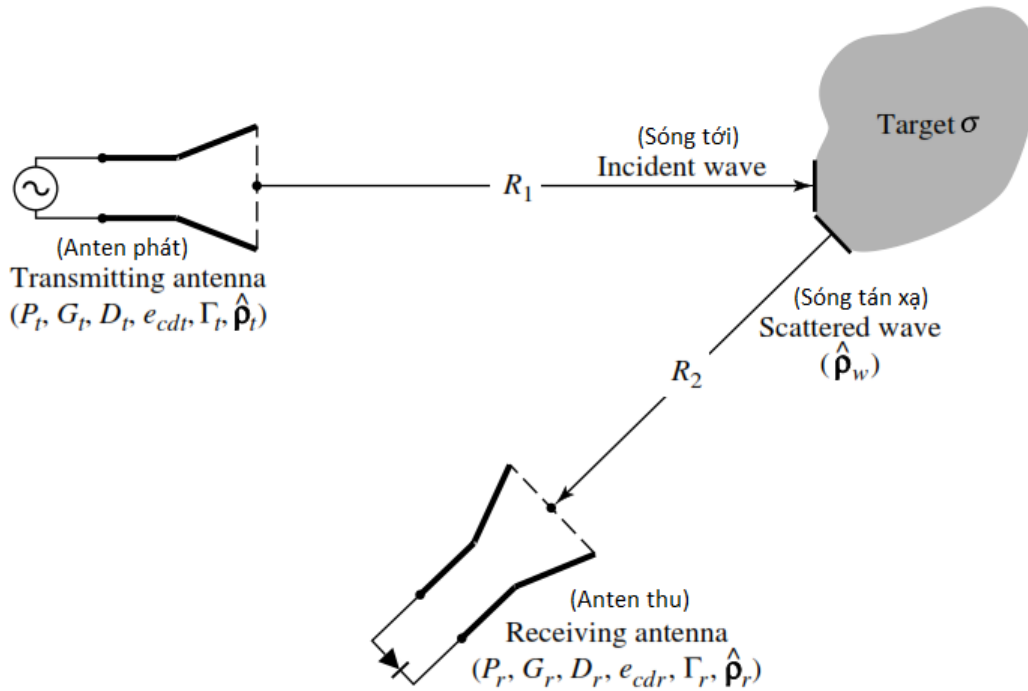
R: Khoảng cách giữa anten phát và thu

Giả sử đặt vào anten phát một mức công suất biết trước P_t , biết được độ lợi anten phát và anten thu. Từ đó dựa vào phương trình Friis ta sẽ ước lượng được khoảng cách lớn nhất R_{max} mà tại đó anten vẫn còn thu được mức tín hiệu thấp nhất (so với công suất nhiễu $P_N = kTB$) mà không bị mất thông tin.

2.3.2 Diện tích phản xạ (Radar Cross Section - RCS)

Thông số RCS - hay còn gọi diện tích phản xạ của vật thể - là một thông số được xét ở trường xa của tín hiệu phát (far-field), nó là đại lượng đặc trưng cho tính tán xạ sóng điện từ của vật

thể và được định nghĩa là bề mặt mà sóng phản xạ ngược về anten thu khi mà sóng tới vật thể và tán xạ theo nhiều hướng khác nhau. [10]



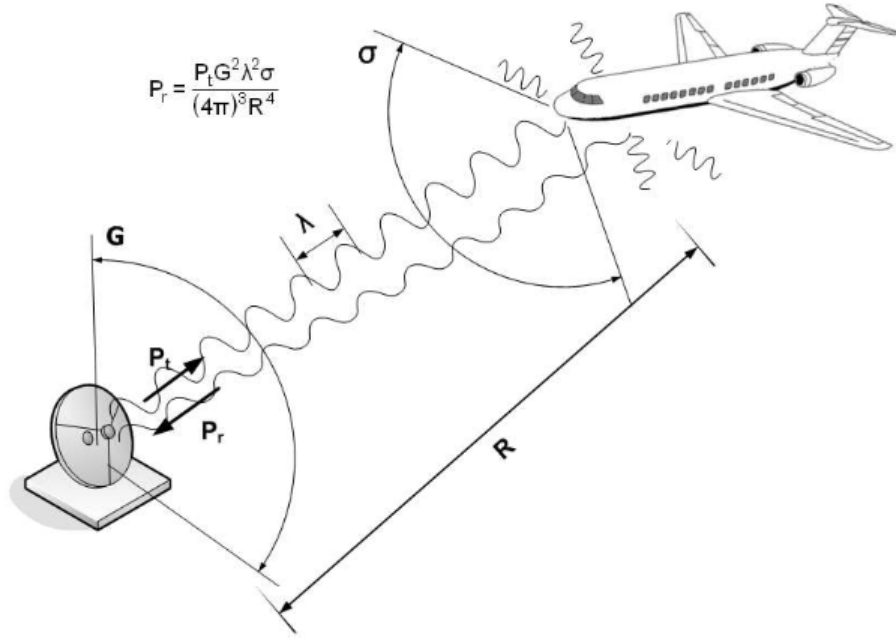
Hình 2.15: Đặc tính tán xạ của vật thể trong truyền và nhận sóng radar
(Hình 2.32, trang 96, [10])

Vật thể	RCS [m^2]	RCS [dBsm]
Xe tải	200	23
Ô tô	100	20
Máy bay dân dụng	100	20
Tàu biển	10	10
Máy bay chiến đấu loại lớn	6	7.78
Máy bay chiến đấu loại nhỏ	2	3
Con người (trưởng thành)	1	0
Tên lửa	0.5	-3
Chim	0.01	-20
Côn trùng	0.00001	-50

Bảng 2.1: RCS của một số vật thể điển hình
(Bảng 2.2, trang 99, [10])

2.3.3 Phương trình radar

Hình 2.16 mô tả một mô hình truyền sóng radar điển hình, trong đó, sóng điện từ được bức xạ ra không gian với công suất phát là P_t tới vật thể bay trong trường hợp này là một chiếc



Hình 2.16: Mô hình truyền sóng radar cơ bản
(Hình 1, trang 6, [14])

máy bay và một phần sóng điện từ phản xạ lại anten với công suất nhận là P_r . Qua đó ta thấy rằng, dựa vào thời gian trễ giữa tín hiệu thu và tín hiệu phát ta có thể tính toán được khoảng cách của chiếc máy bay trên với hệ thống radar. Ngoài ra, việc xác định được sự thay đổi tần số giữa tín hiệu thu và tín hiệu phát còn cho ta thông tin về vận tốc của chiếc máy bay đó thông qua hiệu ứng Doppler.

Tuy nhiên, một vấn đề đặt ra ở đây đó là làm sao để xác định mức công suất thu cần thiết để có thể thu được hai thông tin đã đề cập ở trên. Ta biết rằng, sóng phản xạ về từ không gian tự do sẽ kèm theo nhiễu, do vậy việc thu nhận tín hiệu với mức tín hiệu vừa đủ và với hệ số SNR (tỉ số tín hiệu trên nhiễu) thích hợp thực sự là một bài toán cần giải quyết.

Để giải quyết bài toán này, người ta đã đưa ra một phương trình truyền sóng của radar như sau:

$$P_r = P_t + 2G + \sigma_{dBsm} + 20\log_{10}(\lambda) - 30\log_{10}(4\pi) - 40\log_{10}(R). \quad (2.3)$$

Trong đó:

P_t : Công suất phát tại anten [dBm].

G : Độ lợi của anten [dBi].

λ : Bước sóng của tín hiệu phát [m], với $\lambda = \frac{c}{f}$

σ : Diện tích phản xạ Radar (RCS) [dBsm]

R : Khoảng cách từ anten phát đến vật thể [m].

Phân tích bảng 2.2 ta thấy:

Ví dụ 1: Một hệ thống radar với anten có độ lợi 28 dBi phát sóng điện từ ở tần số 10 GHz với công suất phát là 63 dBm vào một vật thể ở khoảng cách 8114 m. Vật thể có hệ số RCS là

Thông số	Viết tắt	Ví dụ 1	Ví dụ 2	Đơn vị
Công suất phát	Pt	63	13	dBm
Độ lợi anten	G	28	8	dBi
Bước sóng (tần số)	λ	0.03(10.10 ⁹)	0.125(2.4.10 ⁹)	m(Hz)
RCS	σ	12	0.3	dBsm
Khoảng cách	R	8114	5	m
Công suất nhận/tuyến tính	Pr	0.132	107151	pW
Công suất nhận/logarithm	Pr/log	-98.8	-49.7	dBm

Bảng 2.2: Ví dụ về tính toán phương trình Radar

12 dBsm. Từ đó tính công suất nhận ở thang logarithm là -98.8 dBm.

Ví dụ 2: Một hệ thống radar khác được sử dụng trong phòng thí nghiệm với công suất phát 13 dBm được kết nối với một anten có độ lợi 8 dBi với tần số tín hiệu phát là 2.4 GHz. Hệ số RCS của một vật thể cách radar 5 m được tính toán là 0.3 dBsm. Từ đó tính được công suất nhận ở thang logarithm là -49.7 dBm

So sánh kết quả nhận được từ hai ví dụ trên ta thấy, công suất nhận được ở ví dụ 1 thấp hơn so với ví dụ 2 là 49.1 dB mặc dù công suất và độ lợi của anten phát ở hệ thống radar ví dụ 1 lớn hơn nhiều so với ở ví dụ 2. Lý do cho sự sai biệt này nằm ở hai thông số bước sóng và khoảng cách của vật thể làm ảnh hưởng rất lớn đến kết quả công suất nhận được ở hai ví dụ trên. Hệ thống radar ngày nay đều hướng đến việc sử dụng tín hiệu tần số cao đặc biệt là với các hệ thống radar sử dụng mảng anten. Lý do rất đơn giản, kích thước anten tỉ lệ trực tiếp với chiều dài bước sóng của tín hiệu, tần số càng cao, bước sóng tín hiệu sẽ giảm tương ứng, từ đó làm giảm đáng kể kích thước của mảng anten được thiết kế. Như vậy ta thấy rằng, càng nâng tần số hoạt động lên cao, công nghệ radar phải đối mặt với vấn đề thiết kế bộ thu có độ nhạy cao hơn đặc biệt là đối với các vật thể ở khoảng cách xa.

2.3.4 Tầm hoạt động của radar

Tầm hoạt động tối đa của một hệ thống radar được trình bày ở phương trình 2.4 (trang 31, [12])

$$R_{\max}^4 = \frac{P_{ave} G_{tx} A_{rx} \rho_{rx} \sigma n E_i(n) e^{2\alpha R_{\max}}}{(4\pi)^2 k T_0 B_n \tau F_r (SNR)_1 L_s}, \text{ với} \quad (2.4)$$

R_{\max} : tầm hoạt động tối đa của hệ thống radar [m]

P_{ave} : công suất phát trung bình [W]

G_{tx} : độ lợi anten phát

A_{rx} : khẩu độ anten thu [m^2]

ρ_{rx} : hiệu suất anten thu

σ : diện tích phản xạ radar (RCS) [m^2]

L_s : tổng suy hao của hệ thống

α : hệ số suy hao của tín hiệu lan truyền trong không gian tự do

F_n : hệ số *Noise Figure* của hệ thống

k : hằng số Boltzmann ($1.38 \cdot 10^{-23}$)

T_0 : nhiệt độ chuẩn ($27^0C = 290^0K$)

B_n : băng thông nhiễu của hệ thống [Hz]

$(SNR)_1$: tỉ số tín hiệu trên nhiễu

n : số lượng xung nhận được *

$E_i(n)$: hiệu suất phát xung *

τ : độ rộng xung [s] *

f_r : tần số xung được lặp lại [Hz] *

Trong phương trình trên:

Khẩu độ (A_{rx}) và hiệu suất (ρ) của anten nhận liên quan đến độ lợi anten thu (G_{rx}) qua phương trình 2.5

$$G_{rx} = \frac{4\pi A_{rx}\rho}{\lambda_c^2}, \text{ với} \quad (2.5)$$

λ_c : bước sóng tín hiệu tại tần số trung tâm của hệ thống [m]

Hệ số suy hao (α) thông thường gần bằng 0 đối với những hệ thống radar tầm ngắn, từ đó suy ra $e^{2\alpha R_{max}} = 1$.

Hệ số diện tích phản xạ radar (σ) đã được trình bày ở bảng 2.1.

Công thức trên được tổng quát hóa cho radar sử dụng tín hiệu xung và radar sử dụng tín hiệu liên tục.

Đối với radar sử dụng tín hiệu liên tục, các thông số có dấu * được bỏ qua và công suất phát trung bình được tính theo công thức: $P_{ave} = P_t$, với P_t : công suất phát của hệ thống [W].

Đối với radar sử dụng tín hiệu xung, phương trình 2.4 được sử dụng một cách đầy đủ và công suất phát trung bình được tính theo công thức: $P_{ave} = P_t \tau f_r$

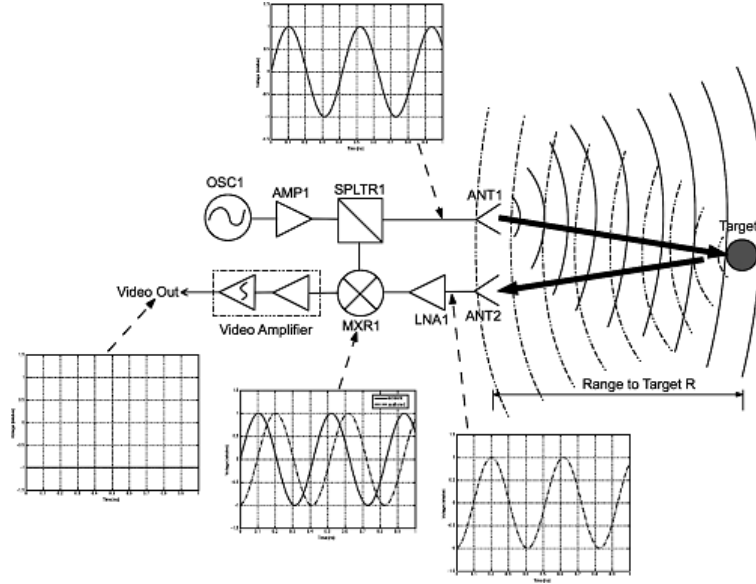
2.4 Các loại Radar phổ biến

Có rất nhiều loại radar phổ biến được sử dụng hiện nay, tùy thuộc vào mục đích và công năng sử dụng cũng như dải tần số hoạt động hoặc kiểu tín hiệu phát xạ (sóng liên tục hoặc dạng xung) mà ta chia ra nhiều loại radar khác nhau. Trong phần này chúng ta chỉ xem xét một cách tổng quan nhất về một số loại radar phổ biến, trong đó có 3 loại radar được trình bày chi tiết ở chương 2 đó là CW (Continuous Wave) Radar, FMCW (Frequency Modulated Continuous Wave) Radar và Radar khẩu độ tổng hợp (Synthetic Aperture Radar).

2.4.1 CW Radar

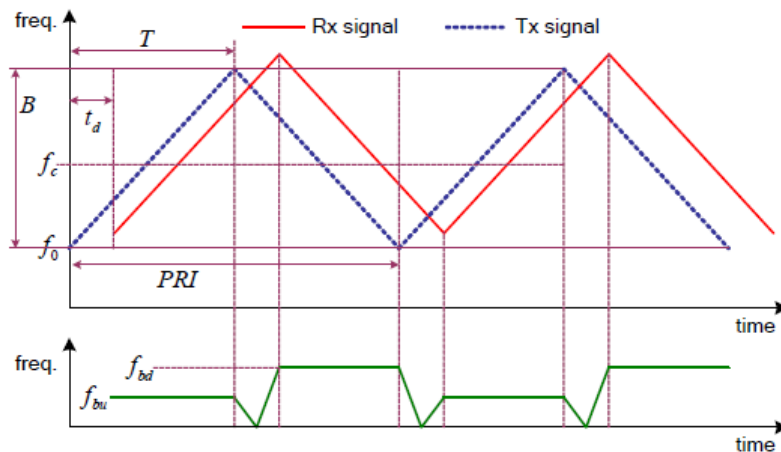
Hệ thống CW (Continuous Wave) radar tạo ra tín hiệu ở một tần số cố định và thường được sử dụng để xác định vận tốc của vật thể. Nó hoạt động dựa theo hiệu ứng Doppler bằng cách xác định sai lệch tần số của tín hiệu thu và phát từ đó đưa ra thông tin về vận tốc vật thể. Tuy

nhiên, hệ thống radar này không thể xác định được khoảng cách từ vật thể đến radar do không thể xác định được khoảng thời gian trễ giữa tín hiệu thu và phát, đó cũng chính là nhược điểm của radar loại này. Một số ứng dụng của CW radar đó là xác định vận tốc của các phương tiện giao thông hoặc cảm biến chuyển động thường được sử dụng ở các trung tâm thương mại.



Hình 2.17: Mô hình CW radar
(Hình 1.23, trang 30, [12])

2.4.2 FMCW Radar



Hình 2.18: Sóng điều chế dùm trong FMCW Radar

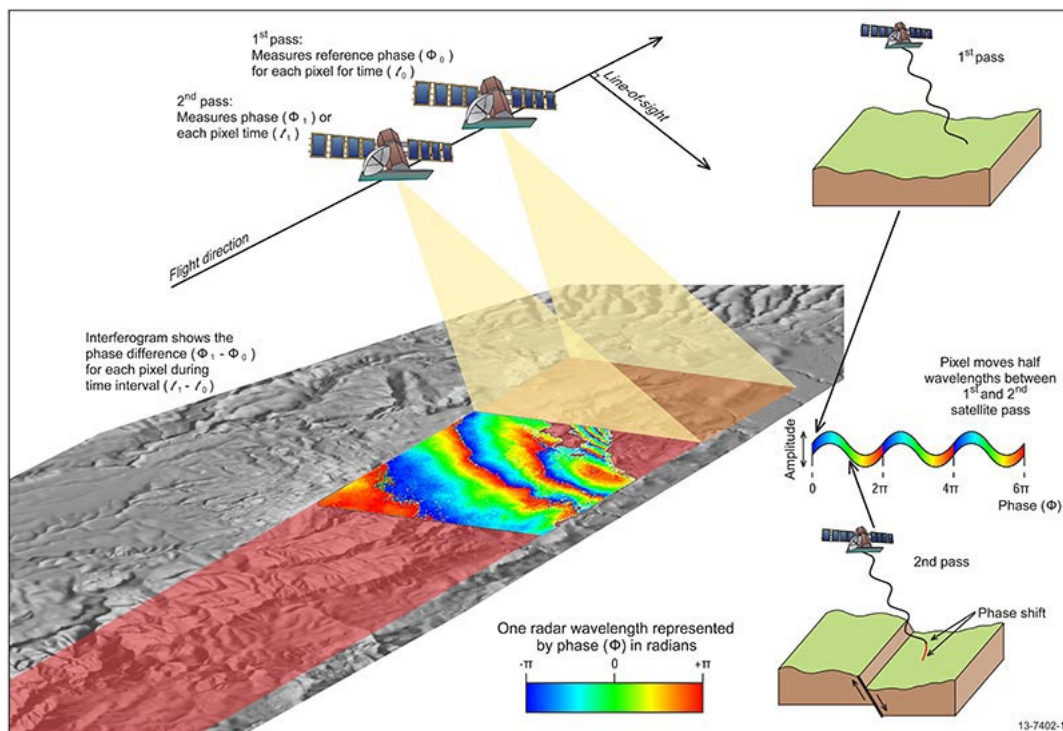
Đối với hệ thống CW radar ta không thể xác định được khoảng cách của vật thể do không thể xác định được thời gian trễ giữa tín hiệu thu và phát. Tuy nhiên, ta có thể phát triển hệ thống trên để có thể xác định được khoảng thời gian trễ trong việc đo khoảng cách vật thể bằng cách điều chế tín hiệu phát sao cho tần số của tín hiệu thay đổi theo một chu kỳ, thông

thường là hàm răng cưa (Hình 2.18). Khi tín hiệu phản hồi được thu nhận, từ sự thay đổi về tần số ta xác định được thông tin về thời gian trễ của tín hiệu từ đó xác định được khoảng cách vật thể.

Một số ứng dụng của radar này trong thực tế đó là xác định độ cao hiện thời của máy bay hoặc khảo sát tính bằng phẳng của một bề mặt nào đó. Ngoài ra còn có một loại radar khác có thể xác định được khoảng cách vật thể đó là radar phát xung sẽ được đề cập ở phần sau.

2.4.3 Synthetic Aperture Radar

Hệ thống Radar khẩu độ tổng hợp thuộc vào nhóm *mapping radar*. Những radar loại này thường được sử dụng trên máy bay hoặc vệ tinh để tái hiện lại hình ảnh của một vùng trên mặt đất bằng việc quét bề mặt đó bằng sóng điện từ. Trong trường hợp này, hệ thống SAR sẽ di chuyển dọc theo bề mặt mà nó muốn tái hiện và lưu trữ dữ liệu rồi chuyển sang bộ xử lý tín hiệu từ đó tái hiện lại hình ảnh của bề mặt đó. Độ phân giải của hệ thống càng cao ta sẽ thu được hình ảnh càng rõ nét và có thể so sánh với ảnh chụp từ *camera*.



Hình 2.19: Mô hình Synthetic Aperture Radar

Một ưu điểm của hệ thống *mapping radar* này so với *camera* đó là có thể thu thập dữ liệu bất kể ngày và đêm và không bị ảnh hưởng bởi mây, mù hay thời tiết.

Ngược lại đối với công nghệ phòng thủ, một hệ thống ISAR (Inverse Synthetic Aperture Radar) được sử dụng theo cách ngược lại, trong trường hợp này radar sẽ đứng yên và tái hiện lại hình ảnh của vật thể di chuyển khi vật thể này di chuyển ngang qua búp sóng anten của hệ thống.

Điểm khác nhau chính yếu nằm ở việc hoặc radar di chuyển hoặc vật thể chuyển động. Đối với hệ thống SAR thì radar sẽ di chuyển động còn vật thể cần xác định sẽ đứng yên, trong khi đó đối với hệ thống ISAR thì radar sẽ đứng yên và vật thể sẽ chuyển động. Một điểm chung dễ nhận thấy đó là cả hai hệ thống đều sử dụng cùng một nguyên lý hoạt động đó là dựa vào chuyển động tương đối của radar và vật thể từ đó tái hiện lại hình ảnh vật thể đó.

2.4.4 Simple Pulse Radar

Hệ thống radar phát xung (Pulse Radar) không sử dụng sóng mang liên tục như 3 loại radar đã đề cập ở trên, thay vào đó tín hiệu phát từ radar này ở dạng xung theo một chu kỳ xác định.

Đối với hệ thống radar phát xung những thông số tín hiệu cần được quan tâm đó là:

- Sóng mang liên tục - CF (Continuous Frequency)
- Độ rộng xung - PW (Pulse Width)
- Dạng điều chế (Modulation)
- Tần số lặp lại xung - PRF (Pulse Repetition Frequency), với $PRF = \frac{1}{PRP}$

Trong đó PRP: Chu kỳ lặp lại xung (Pulse Repetition Period) (Hình 2.20)

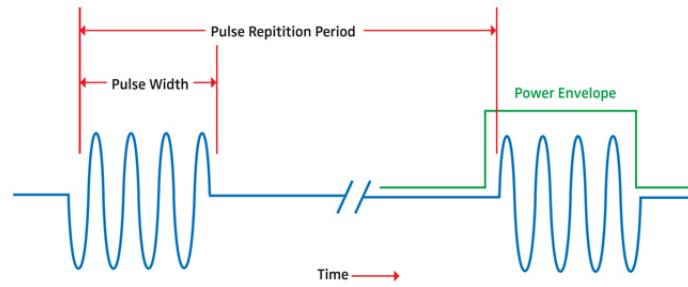
Trong đó thông số PRF là thông số quyết định đến mức độ rõ ràng (unambiguous) về thông tin nhận được (vận tốc hoặc khoảng cách) (Bảng 2.3). Do đó cần có sự chọn lựa PRF phù hợp với mục đích và yêu cầu của radar. [15]

PRF	Độ rõ ràng về khoảng cách	Độ rõ ràng về vận tốc
PRF thấp	Có	Không
PRF trung bình	Không	Không
PRF cao	Không	Có

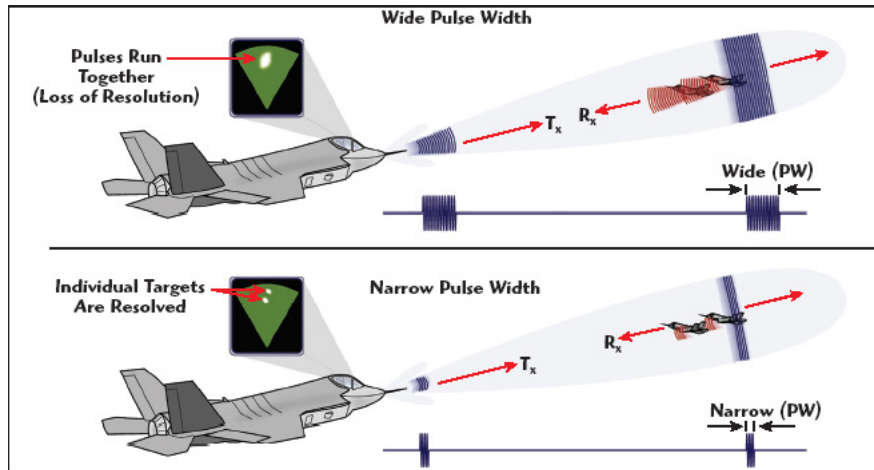
Bảng 2.3: Mối liên hệ giữa PRF và khả năng làm việc của radar phát xung (Bảng 3.1, [15])

Khoảng cách vật thể được xác định nhờ vào thời gian trễ giữa xung nhận về và xung đã phát đi trước đó. Ta thấy rằng, độ rộng xung phát đi càng hẹp, sự chính xác trong việc tính toán thời gian trễ giữa tín hiệu phát và thu càng chính xác nhờ đó thông tin về khoảng cách của vật thể càng chính xác hơn. Do đó, độ rộng xung của tín hiệu sẽ quyết định độ phân giải khoảng cách của vật thể. Thông thường radar này được ứng dụng trong các hệ thống radar giám sát biển, xác định khoảng cách và radar thời tiết.

Từ ý tưởng về radar phát xung đơn giản, người ta đã phát triển thêm 2 loại radar phát xung khác đó là Pulse Doppler radar và MTI radar với khả năng xác định không chỉ khoảng cách mà còn cả vận tốc của vật thể được ứng dụng rất nhiều trong thực tế.



Hình 2.20: Dạng xung phát ra từ Pulse Radar



Hình 2.21: Mô hình radar phát xung và độ phân giải tương ứng với độ rộng xung

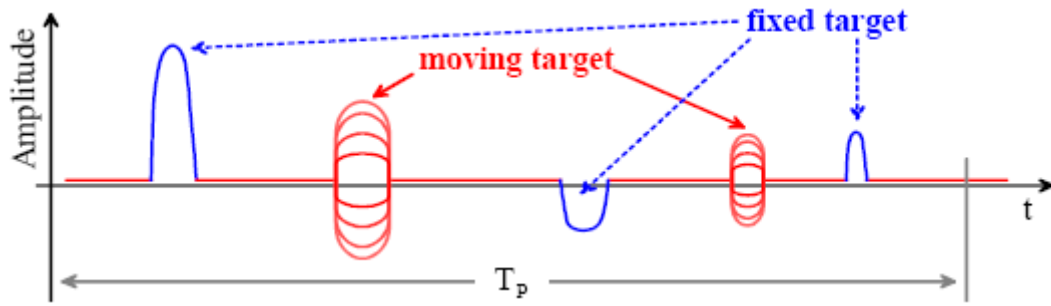
2.4.5 Moving - Target Indication (MTI) Radar

Ý tưởng xây dựng hệ thống MTI radar đó là một hệ thống có khả năng phân biệt được các vật thể chuyển động với vận tốc cao như máy bay hoặc tên lửa so với các vật thể khác có tốc độ chậm hoặc không di chuyển như các tòa nhà, ngọn núi, mây,... Nhờ đó, MTI radar thường được dùng trong các trạm quan sát các vật thể bay ở mặt đất hoặc trong các hệ thống giám sát, phòng thủ trong quân đội.

Hoạt động tương tự như một hệ thống pulse radar, tuy nhiên hệ thống sử dụng tín hiệu xung với hệ số PRF thấp, từ đó cho ta thông tin về khoảng cách vật thể một cách chính xác trong khi thông tin về vận tốc vật thể nhận được khá mơ hồ. Chính vì vậy, đối với những vật thể đứng yên hoặc chuyển động rất chậm, tín hiệu nhận về ít có sự thay đổi về mặt biên độ trong khi đối với những vật thể có vận tốc chuyển động lớn cho ta sự thay đổi về biên độ của tín hiệu nhận về từ đó giúp phân biệt được các vật thể khác nhau. (Chương 4, [14])

2.4.6 Pulse Doppler Radar

Tương tự như hệ thống MIT, hệ thống Pulse Doppler radar cũng hoạt động dựa trên hiệu ứng Doppler để xác định vận tốc vật thể. Tuy nhiên, hệ thống này hoạt động với thông số PRF cao hơn so với hệ thống MIT.



Hình 2.22: Tín hiệu nhận về từ MIT radar đối với vật thể chuyển động và không chuyển động (Hình 7, trang 15, [14])

Hệ thống *Pulse Doppler radar* thường sử dụng hệ thống PRF ở mức trung bình và cao, trong đó hệ thống hoạt động với thông số PRF cao sẽ cho ta thông tin rõ ràng về vận tốc, nhưng khá mơ hồ về thông tin khoảng cách vật thể, đối với hệ thống hoạt động với thông số PRF trung bình cho ta thông tin về khoảng cách cũng như vận tốc vật thể một cách không rõ ràng.

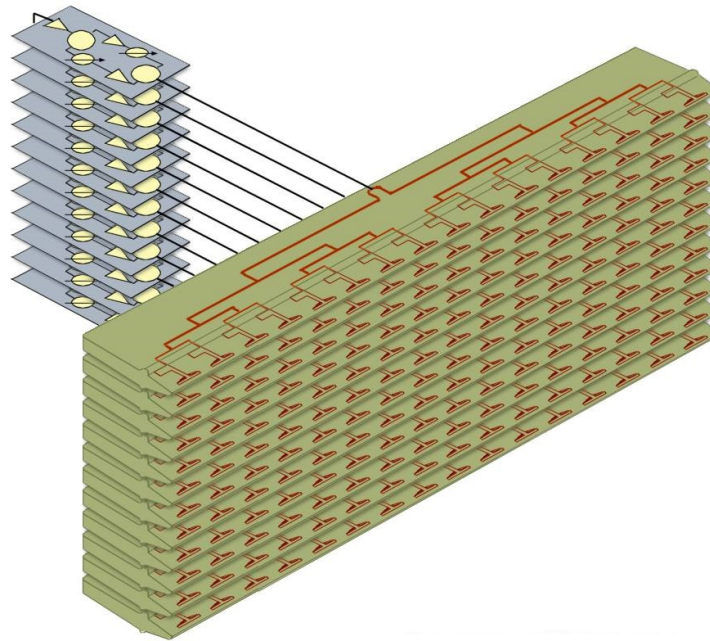
2.4.7 Radar sử dụng mảng Anten (Phased - Array Radar)

Đối với những hệ thống radar vừa đề cập, Anten sử dụng trong hệ thống thường được đặt cố định với một hướng bức xạ xác định. Thông thường, độ rộng búp sóng của Anten sử dụng trong radar khá hẹp nhằm tăng tính chính xác trong việc xác định vật thể. Tuy nhiên, điều đó gây khó khăn cho radar trong việc quan sát các vùng rộng lớn, do vậy ngày xưa người ta thường thiết kế hệ thống Anten có thể xoay được nhờ đó giúp radar có thể hoạt động ở vùng không gian rộng hơn. Việc thiết kế Anten xoay dựa vào cơ học khiến cho hệ thống radar hoạt động với độ trễ rất cao (do dùng *motor* để xoay Anten) có thể dẫn đến việc mất thông tin và hệ thống trở nên cồng kềnh hơn.

Ngày nay, với sự ra đời của hệ thống mảng Anten (Hình 2.23) - bản chất là hệ thống Anten được ghép nối từ nhiều Anten nhỏ, đơn giản theo cấu trúc 2 chiều hoặc 3 chiều - người ta có thể tạo ra hệ thống radar hoạt động theo mọi hướng mặc dù Anten vẫn được đặt cố định.

Tùy thuộc vào sự lệch pha của dòng điện đặt vào mỗi Anten, ta thay đổi được hướng bức xạ của hệ thống Anten nhờ đó giúp thay đổi được hướng của búp sóng Anten mà không cần phải xoay Anten. Lợi thế của mảng Anten đó là có thể giúp thay đổi hướng của búp sóng Anten mặc dù Anten vẫn được giữ cố định nhờ đó làm giảm sự cồng kềnh so với hệ thống Anten xoay. Ngoài ra, tốc độ thay đổi hướng của búp sóng Anten trong hệ thống dùng mảng Anten có thể đạt được rất cao, do vậy hạn chế được sự mất tín hiệu do độ trễ cơ học gây ra.

Tuy nhiên, việc thiết kế hệ thống mảng Anten mất chi phí rất lớn, do vậy hệ thống *Phased Array Radar* thường được sử dụng cho các mục đích quân sự hoặc các ứng dụng trong vệ tinh.



Hình 2.23: Hệ thống mảng anten



Hình 2.24: Hệ thống radar sử dụng mảng anten

Ký hiệu các dãy tần	Dãy tần chuẩn	Dãy tần phân chia dựa theo ITU
HF	3 ÷ 30 [MHz]	
VHF	30 ÷ 300 [MHz]	138 ÷ 144 [MHz] , 216 ÷ 255 [MHz]
UHF	300 ÷ 1000 [MHz]	420 ÷ 450 [MHz], 890 ÷ 942 [MHz]
L	1.0 ÷ 2.0 [GHz]	1215 ÷ 1400 [MHz]
S	2.0 ÷ 4.0 [GHz]	2.3 ÷ 2.5 [GHz], 2.7 ÷ 3.7 [GHz]
C	4.0 ÷ 8.0 [GHz]	4.2 ÷ 4.4 [GHz], 5.25 ÷ 5.925 [GHz]
X	8.0 ÷ 12.0 [GHz]	8.5 ÷ 10.68 [GHz]
K_u	12.0 ÷ 18.0 [GHz]	13.4 ÷ 14 [GHz], 15.7 ÷ 17.7 [GHz]
K	18.0 ÷ 27.0 [GHz]	24.05 ÷ 24.25 [GHz], 24.65 ÷ 24.75 [GHz]
K_a	27.0 ÷ 40.0 [GHz]	33.4 ÷ 36 [GHz]
V	40.0 ÷ 75.0 [GHz]	59.0 ÷ 64.0 [GHz]
W	75 ÷ 110.0 [GHz]	76.0 ÷ 81.0 [GHz], 92.0 ÷ 100 [GHz]

Bảng 2.4: Các dãy tần số hoạt động của radar theo chuẩn IEEE
(Bảng 1.1, [16])

2.5 Các dãy tần số hoạt động của Radar

HF (3 ÷ 30 [MHz]:) Phần lớn các loại radar hoạt động ở dãy tần HF được dùng để xác định các vật thể ở khoảng cách rất xa (lớn hơn 3700 km - 2000 nautical mile [16]) vì sóng điện từ ở băng tần HF được khúc xạ rất tốt khi đi qua tầng điện ly.

Mục tiêu của các radar hoạt động ở băng tần HF thường là trực thăng, tàu biển, tên lửa đạn đạo. Ngoài ra, các loại radar vừa đề cập còn được dùng để thu nhận sóng phản xạ từ bề mặt của các đại dương, từ đó thu nhận thông tin về hướng cũng như tốc độ của gió lướt trên mặt biển.

VHF (30 ÷ 300 [MHz]:) Hệ thống radar đầu tiên được chế tạo vào những năm 1930 hoạt động ở băng tần VHF. Vào thời điểm đó băng tần VHF được xem là băng tần cao nhất mà công nghệ chế tạo radar có thể đạt tới được. Tần số sóng radar ở băng tần này thích hợp cho các ứng dụng như các hệ thống giám sát bầu trời (Air Surveillance) hoặc xác định tên lửa đạn đạo. Tại băng tần này, hệ số phản xạ đối với mặt đất khá cao đặc biệt là đối với mặt nước, do vậy sự giao thoa giữa sóng phản xạ trực tiếp và sóng phản xạ từ bề mặt giúp tăng một cách đáng kể tầm hoạt động của hệ thống radar ở băng tần VHF. Tuy nhiên, hiện tượng giao thoa sóng luôn tồn tại một vấn đề bên cạnh sự cộng hưởng sóng đó là sự triệt tiêu sóng tại điểm nút. Như vậy, trong trường hợp tín hiệu bị triệt tiêu sẽ gây ảnh hưởng rất lớn đến hiệu quả làm việc của radar.

Đối với cùng một loại vật thể, diện tích bề mặt phản xạ (RCS) của radar hoạt động ở băng tần VHF cao hơn so với các băng tần cao hơn, ngoài ra chi phí cho việc xây dựng radar ở băng tần VHF cũng thấp hơn so với các băng tần cao hơn với cùng tầm hoạt động.

UHF (300 ÷ 1000 [MHz]:) Những đặc trưng của hệ thống radar hoạt động ở băng tần VHF cũng được mở rộng để hoạt động ở băng tần UHF. Loại radar thường được thiết kế hoạt động ở băng tần UHF đó là MTI (Moving - Target Indication) radar. Ngoài ra, băng tần UHF

còn phù hợp cho việc thiết kế các hệ thống radar hoạt động ở tầm xa như xác định và theo dõi vệ tinh hoặc tên lửa đạn đạo. Đặc biệt, dải tần số trên (upper portion) thuộc dải tần UHF được sử dụng cho các hệ thống radar quan sát theo dõi bầu trời (Air Surveillance) hoặc các radar có khả năng khảo sát hướng cũng như tốc độ của các luồng gió.

Băng tần L ($1.0 \div 2.0$ [GHz]:) Dải tần L cũng phù hợp đối với *Air Surveillance radar*. Tuy nhiên, ở những dải tần càng cao, ảnh hưởng của thời tiết đối với tín hiệu càng lớn đặc biệt là mưa hoặc bão. Do vậy, việc thiết kế radar ở dải tần L phải quan tâm đến việc giảm thiểu ảnh hưởng của thời tiết đến chất lượng của radar. Ngoài ra, radar hoạt động ở dải tần này cũng được dùng để xác định vệ tinh hoặc các tên lửa được bắn ở khoảng cách giữa các châu lục (liên lục địa - *intercontinental ballistic missile*).

Băng tần S ($2.0 \div 4.0$ [GHz]:) Tầm hoạt động của hệ thống radar ở băng tần S vào khoảng $50 \div$ *nautical mile* và đặc biệt là các hệ thống radar 3D. Ta biết rằng, dải tần số thấp thích hợp đối với các radar giám sát tầm xa, tuy nhiên độ chính xác cao trong việc xác định vị trí vật thể lại đạt được ở các radar hoạt động ở dải tần cao. Radar ở băng tần S cho ta một sự thỏa hiệp tối ưu về hai khả năng làm việc trong cùng một hệ thống radar vừa được đề cập.

Các loại radar quan sát thời tiết thường được thiết kế ở băng tần S. Lý do là vì ở tần số thấp hơn, mức công suất tín hiệu phản xạ nhận về khá yếu, trong khi đó ở tần số cao hơn, tín hiệu lan truyền bị suy hao rất nhanh và do đó gây sai số lớn trong việc xác định thông tin về thời tiết. Có nhiều loại radar quan sát thời tiết được thiết kế để hoạt động ở tần số cao hơn, tuy nhiên tầm hoạt động thường ngắn hơn so với radar được thiết kế ở băng tần S.

Băng tần C ($4.0 \div 8.0$ [GHz]:) Băng tần C nằm giữa băng tần S và băng tần X, do đó các radar được thiết kế ở băng tần C mang những thuộc tính như những radar hoạt động ở băng tần S và X. Ngày xưa, rất nhiều ứng dụng được thực hiện ở những hệ thống radar hoạt động ở băng tần C, tuy nhiên ngày nay các ứng dụng đó được thực hiện ở các radar hoạt động hoặc ở băng tần S hoặc ở băng tần X.

Băng tần X ($8.0 \div 12.0$ [GHz]:) Băng tần X được dùng phổ biến đối với các radar ứng dụng trong quân sự. Radar hoạt động ở băng tần X được dùng cho các máy bay không vận trong quân sự với vai trò đánh chặn, chiến đấu hoặc tấn công đối với các vật thể dưới mặt đất. Đặc biệt, băng tần X thường được sử dụng cho các loại radar xác định hình ảnh vật thể (*imaging radar*) dựa trên nguyên lý SAR hoặc ISAR. Ngoài ra, băng tần X còn phù hợp cho việc thiết kế các loại radar thám hiểm đại dương, radar dung trên máy bay nhằm giảm thiểu ảnh hưởng của thời tiết đối với tầm quan sát của phi công, hoặc các loại radar nhằm xác định vận tốc vật thể.

Băng tần K_u , K, K_a ($12.0 \div 40.0$ [GHz]:) Tín hiệu ở tần số càng cao, kích thước anten được thiết kế dành cho tín hiệu đó càng giảm, điều này gây khó khăn cho việc tạo ra mức công suất lớn. Do vậy, tầm hoạt động của các loại radar hoạt động ở băng tần cao hơn băng tần

X thường thấp hơn so với hoạt động ở băng tần X. Băng tần này được sử dụng cho các radar kích thước nhỏ với tầm hoạt động ngắn.

2.6 Ứng dụng của Radar

2.6.1 Ứng dụng trong quân sự

Radar đầu tiên được thiết kế và chế tạo vào những năm 1930 nhằm mục đích chống lại các máy bay ném bom của các bên tham chiến. Do vậy, vai trò của radar đối với việc phòng thủ trong chiến tranh là vô cùng quan trọng. Trong các trận giao tranh, radar được sử dụng như một thiết bị theo dõi các vật thể trên bầu trời như máy bay chiến đấu, trực thăng, tên lửa và các vật thể bay không xác định khác. Ngoài ra, radar còn được sử dụng để điều khiển các vũ khí đánh chặn, súng cối, đại bác hoặc tên lửa.

2.6.2 Viễn thám môi trường

Ứng dụng chủ yếu của các loại radar viễn thám đó là quan sát và theo dõi tình hình thời tiết, từ đó đưa ra những dự đoán để đánh giá về diễn biến của các loại thời tiết như mưa, bão,... Ngoài ra, radar viễn thám còn được sử dụng trên các loại máy bay nhằm xác định độ cao của máy bay so với mực nước biển hoặc các loại radar tái hiện hình ảnh mặt đất được sử dụng trên máy bay hoặc vệ tinh.

2.6.3 Điều khiển không lưu

Ta biết rằng, tai nạn trong hàng không luôn gây thiệt hại rất lớn về con người. Do vậy, an toàn là một vấn đề quan trọng hàng đầu đối với vận chuyển không lưu hiện nay. Các máy bay dân dụng luôn được trang bị hệ thống radar giúp phi cơ kiểm soát được đường bay, quan sát và theo dõi các máy bay lân cận khác cũng như cung cấp thông tin về thời tiết giúp định hướng đường bay phù hợp cho máy bay nhằm hạn chế những rủi ro có thể xảy ra.

2.6.4 Ứng dụng khác

Radar còn được sử dụng trong các trạm quan sát đại dương với vai trò điều hướng cho các loại tàu biển cũng như tìm kiếm cứu nạn đối với các loại tàu, thuyền gặp sự cố trên biển. Ngoài ra, radar còn được sử dụng để khảo sát bề mặt của các hành tinh lân cận Trái đất trong hệ mặt trời chẳng hạn như sao Kim. Bên cạnh đó, radar còn được ứng dụng trong các lĩnh vực dân sự như thiết bị kiểm tra tốc độ của phương tiện giao thông - một ứng dụng của *CW Radar* - hoặc được ứng dụng trong sinh học với việc khảo sát sự di chuyển của các loại chim hoặc côn trùng,...

2.7 Kết luận chương

Tổng quan về một hệ thống radar đã được trình bày trong chương 2 giúp người thiết kế có một cái nhìn khái quát về cấu tạo, chức năng cũng như ứng dụng của các loại radar trên thực tế. Những thông tin được đưa ra ở chương 2 sẽ là nền tảng cơ bản qua đó giúp người thiết kế đưa ra những quyết định phù hợp để xây dựng và hiện thực hóa một hệ thống radar. Trong phần tiếp theo, chúng ta sẽ cùng phân tích yêu cầu và mục đích đối với hệ thống radar cần thiết kế từ đó có những chọn lựa phù hợp trong việc xây dựng một hệ thống radar dựa trên những kiến thức được cung cấp ở chương 2.