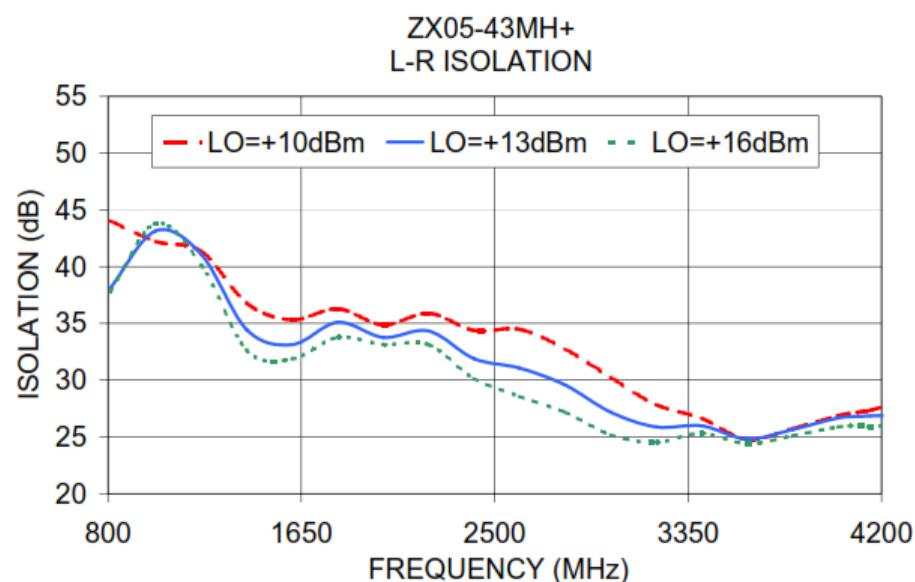
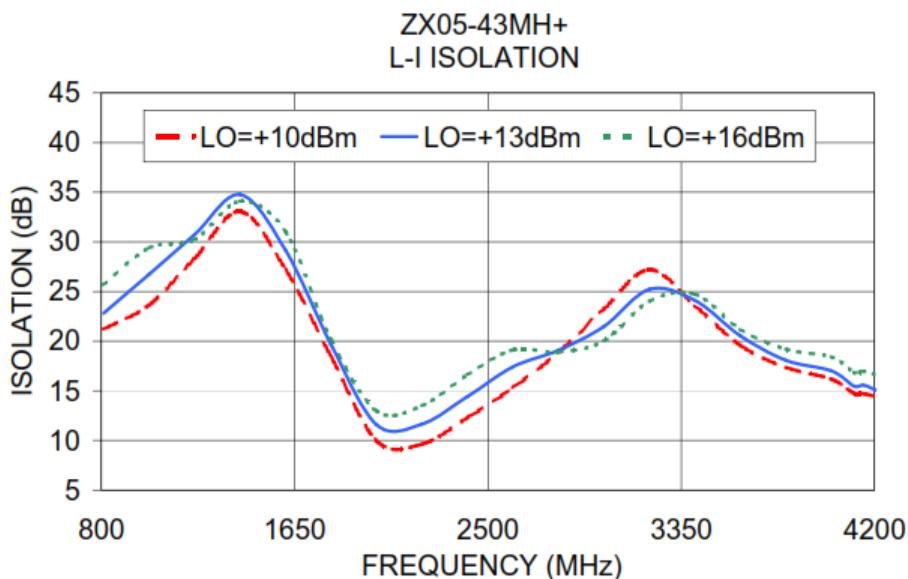


Hình 4.47: Suy hao trong quá trình chuyển đổi theo tần số của bộ Mixer ZX05-43MH+



Hình 4.48: Hệ số cách ly LO-RF theo tần số của bộ Mixer ZX05-43MH+



Hình 4.49: Hệ số cách ly LO-IF theo tần số của bộ Mixer ZX05-43MH+

Để khảo sát công suất ngõ ra của bộ trộn tần, ta sẽ cho radar phát ở tần số 2.4 GHz, từ đó tín hiệu từ port 2 của bộ chia công suất mang tín hiệu từ phía phát đặt vào chân LO của bộ trộn tần. Đặt vật thể phía trước radar ở những khoảng cách khác nhau, từ đó tín hiệu nhận về từ anten thu sẽ được trộn với tín hiệu ở chân LO tạo ra tín hiệu ở ngõ ra IF với hai tần số khác nhau. Quan sát trên máy phân tích phổ ở tần số khoảng 4.8 GHz ta được mức công suất của tín hiệu ở ngõ ra IF.

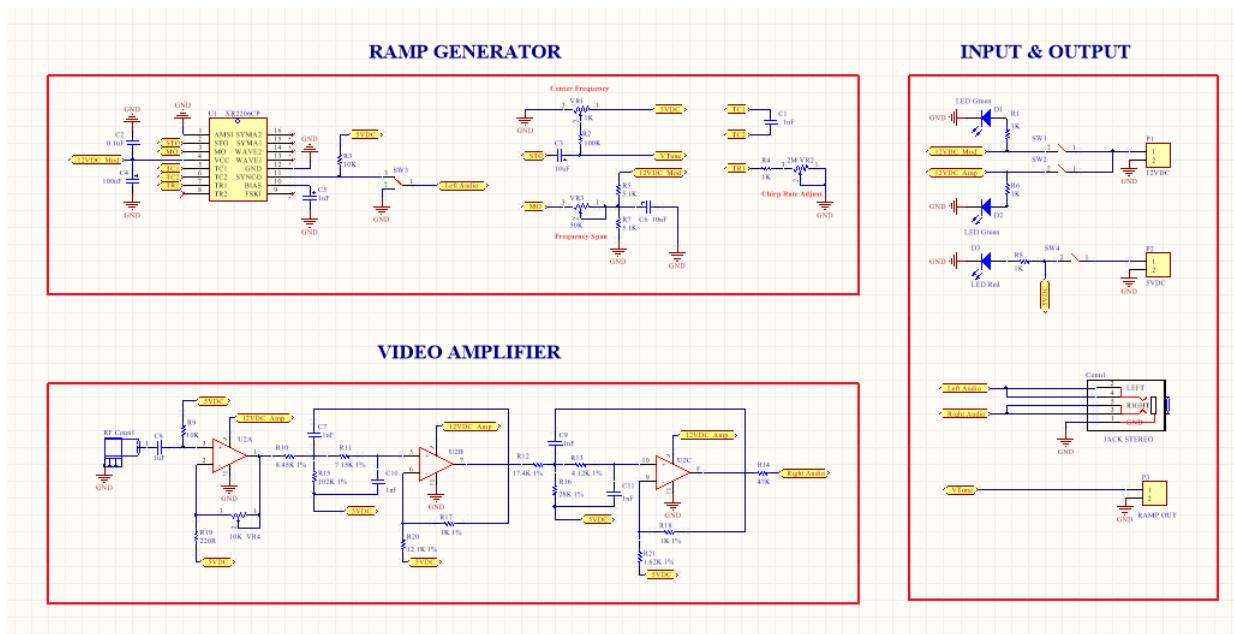
Khoảng cách vật thể so với radar	Công suất ngõ ra [dBm]
1 inch	-11
2 inches	-7
3 inches	-14
4 inches	-6
5 inches	-11
6 inches	-13
7 inches	-3
0.5 m	-10
1 m	-11
2 m	-15

Bảng 4.17: Công suất tín hiệu tại ngõ ra bộ Mixer ZX05-43MH+

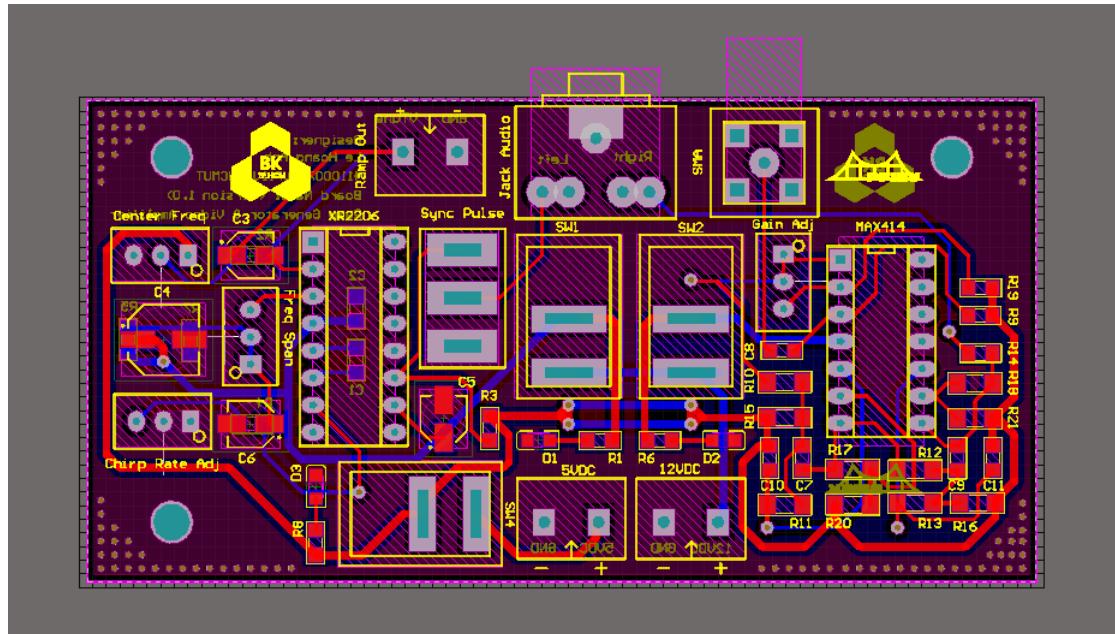
4.4.6 Bộ điều chế (Modulator) và bộ khuếch đại điện áp (Video Amplifier)

Bộ điều chế (Modulator) và bộ khuếch đại (Video Amplifier) được thiết kế trên cùng một board mạch sử dụng phần mềm thiết kế mạch chuyên dụng *Altium Designer*.

4. THIẾT KẾ KHỐI PHẦN CỨNG CỦA HỆ THỐNG RADAR



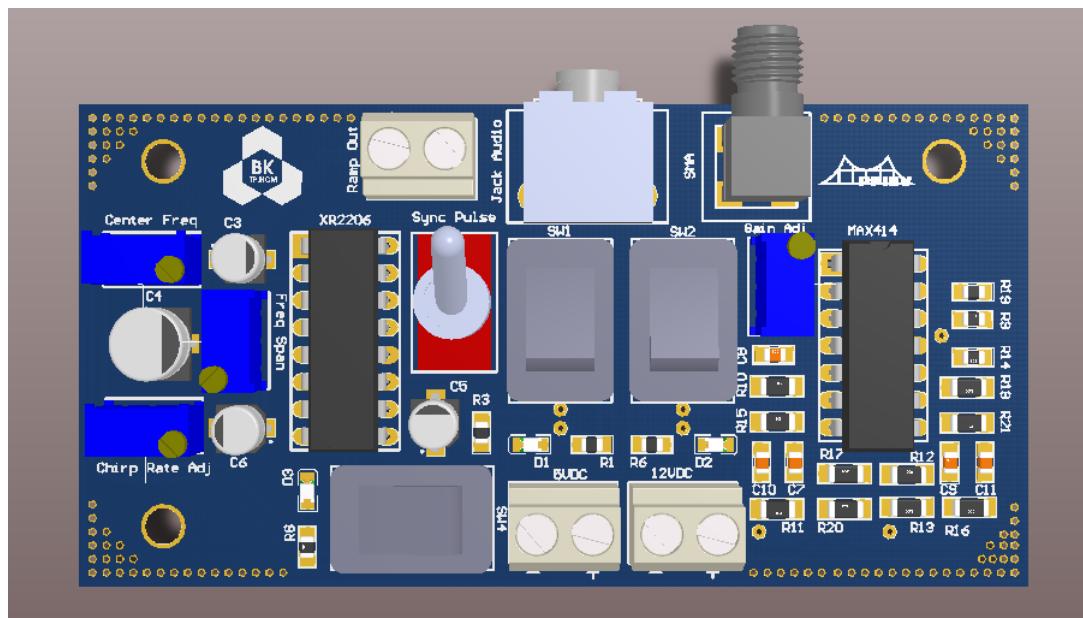
Hình 4.50: Schematic của bộ Modulator và Video Amplifier vẽ trên Altium



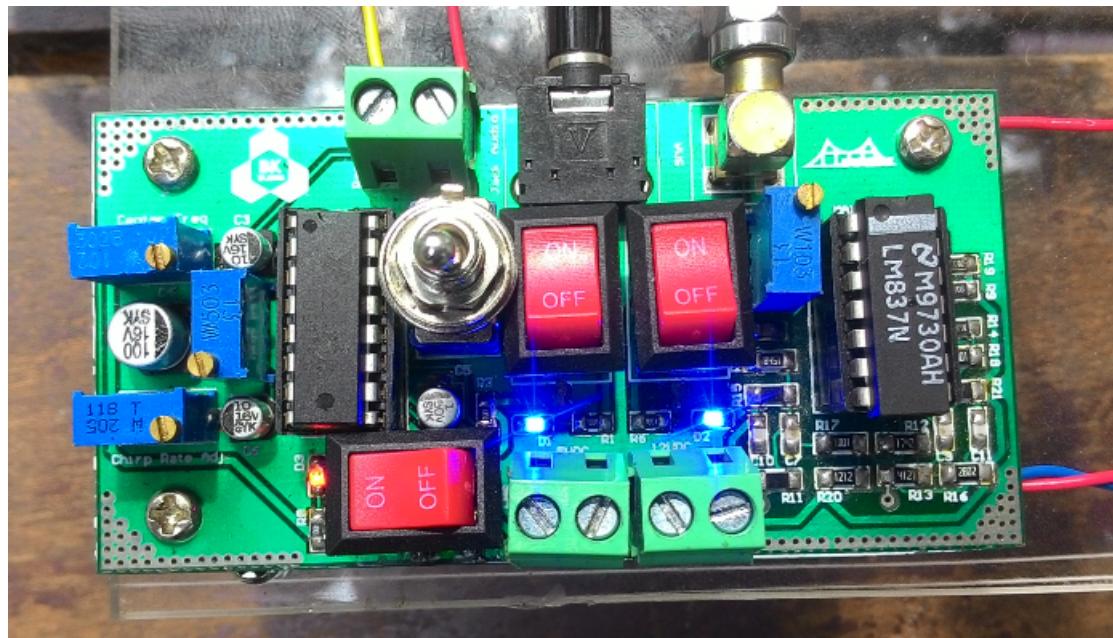
Hình 4.51: Layout của bộ Modulator và Video Amplifier vẽ trên Altium

Sơ đồ *schematic* và *layout* của mạch được trình bày ở hình 4.50 và 4.51

Ngoài ra, phần mềm *Altium Designer* còn cho phép người dùng mô phỏng hình ảnh 3D của board mạch (Hình 4.52) giúp người dùng hình dung rõ ràng hơn về sản phẩm của mình khi thiết kế.



Hình 4.52: Mô hình 3D của bộ Modulator và Video Amplifier vẽ trên Altium



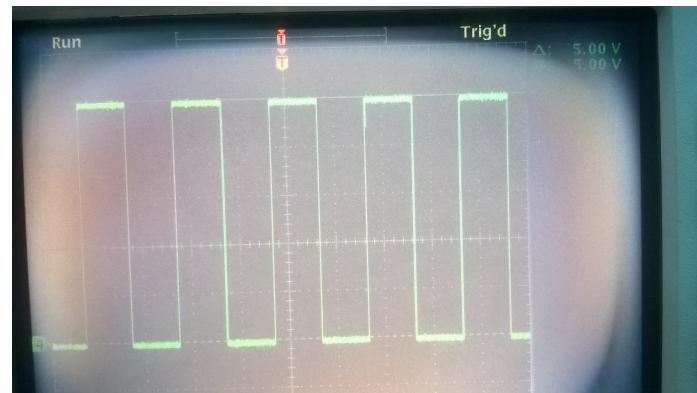
Hình 4.53: Hình ảnh thực tế bộ Modulator và Video Amplifier

4.4.6.1 Modulator

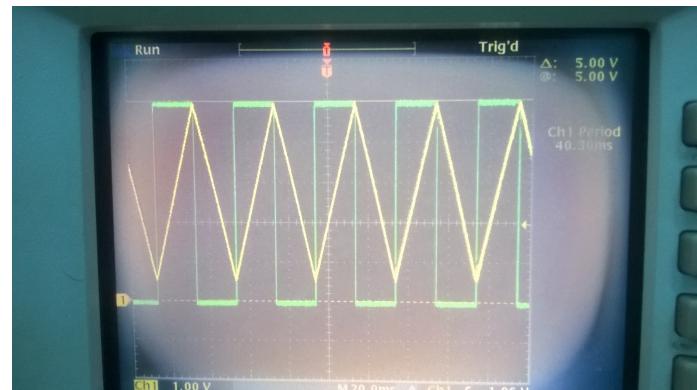
Sau đây là các kết quả thu nhận được bằng *oscilloscope* về các dạng sóng ngõ ra của bộ Modulator.



Hình 4.54: Dạng sóng tam giác tạo ra từ bộ Modulator



Hình 4.55: Dạng sóng xung vuông tạo ra từ bộ Modulator

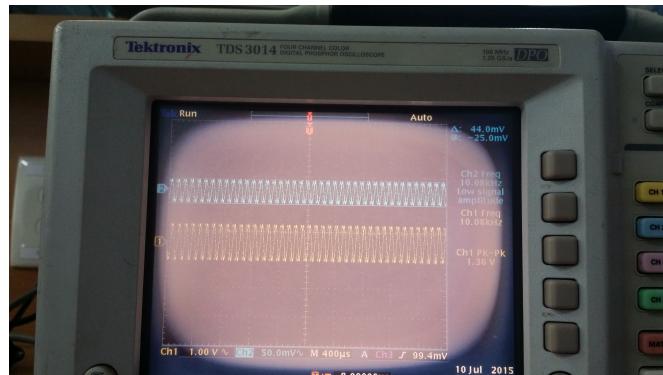


Hình 4.56: Hình ảnh tổng hợp xung tam giác và xung vuông với cùng độ rộng xung

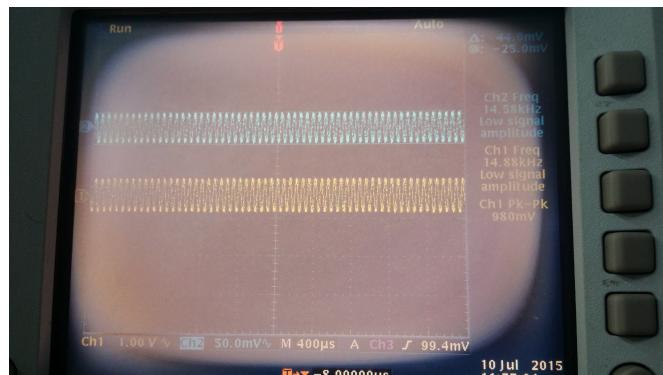
4.4.6.2 Video amplifier

Giá trị điện áp vào và ngõ ra của bộ Video Amplifier quan sát trên oscilloscope tại các tần số 10 KHz (trong dải thông - Hình 4.57), 15 KHz (tại tần số cắt - Hình 4.58) và 22 KHz (ngoài dải thông - Hình 4.59).

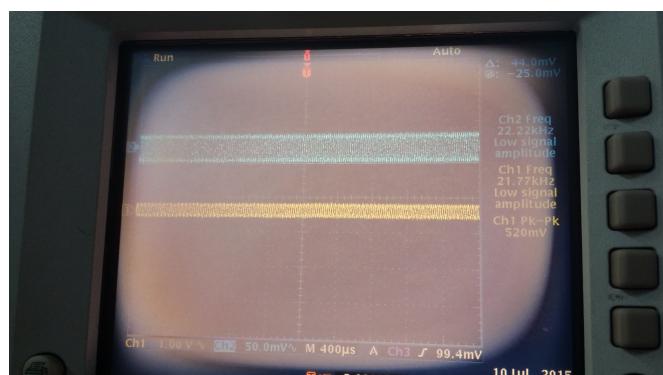
Dáp ứng tần số thực tế của mạch Video Amplifier được minh họa ở hình 4.60.



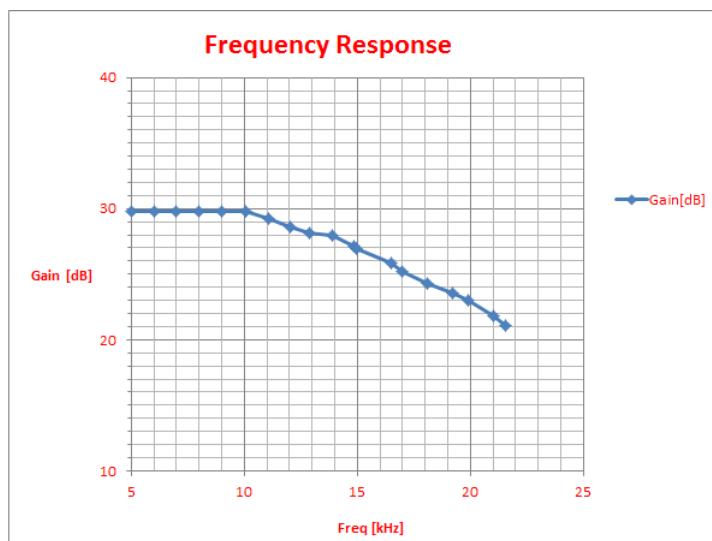
Hình 4.57: Điện áp ngõ vào và ngõ ra của mạch Amplifier tại tần số 10 KHz



Hình 4.58: Điện áp ngõ vào và ngõ ra của mạch Amplifier tại tần số 15 KHz



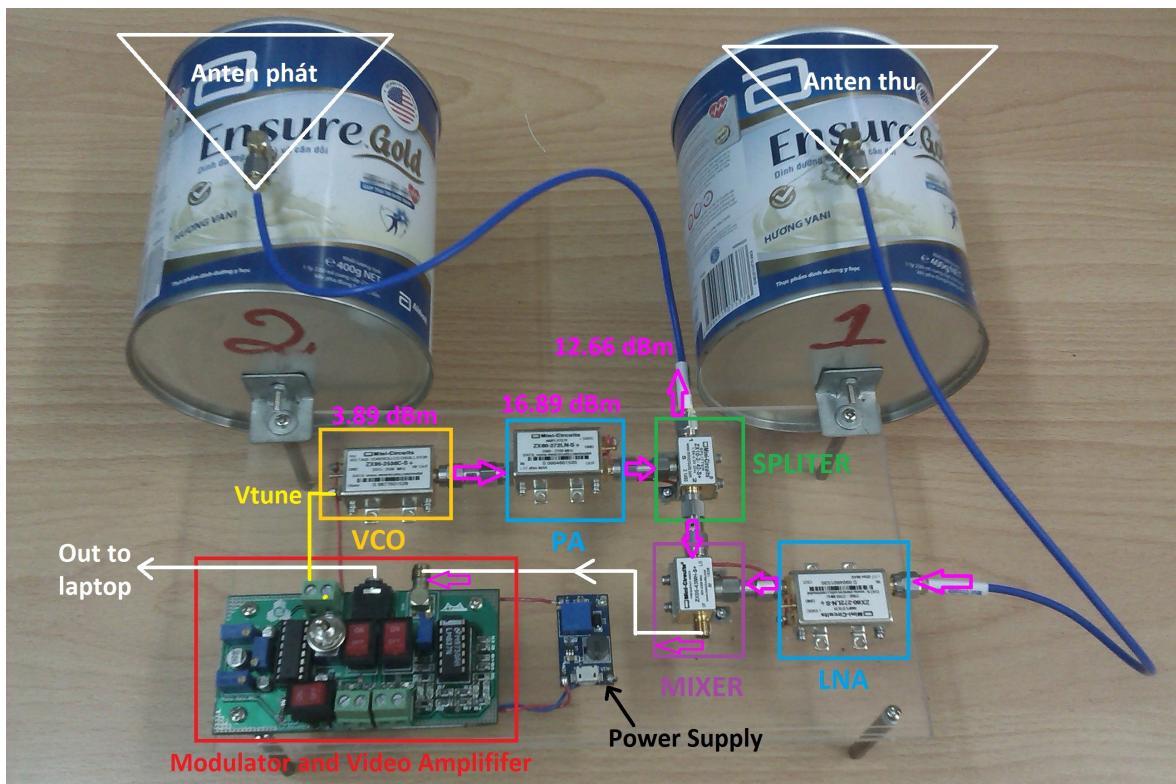
Hình 4.59: Điện áp ngõ vào và ngõ ra của mạch Amplifier tại tần số 22 KHz



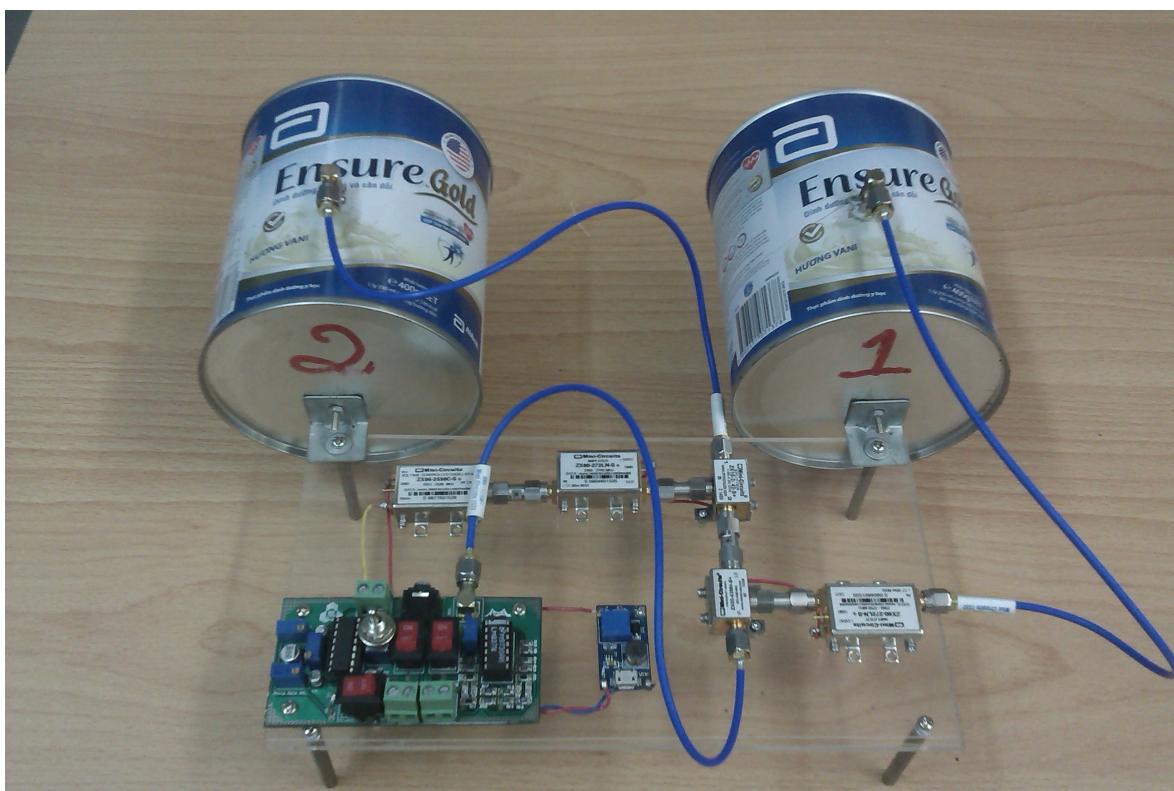
Hình 4.60: Đáp ứng tần số thực tế của mạch Video Amplifier

4.4.7 Hệ thống Radar hoàn chỉnh

Sau khi kiểm tra và đo đặc các thông số cần thiết cho các bộ phận cấu thành nên hệ thống radar, ta tiến hành lắp ráp các bộ phận trên với nhau theo sơ đồ thiết kế hình 4.1 và 4.2. Từ đó ta có hệ thống radar hoàn chỉnh được minh họa ở hình 4.61 và 4.62.



Hình 4.61: Hệ thống radar hoàn chỉnh với các mức công suất cụ thể



Hình 4.62: Hệ thống Radar hoàn chỉnh

4.5 Kết luận chương

Từ sơ đồ khối cho một hệ thống radar ban đầu, qua các bước lựa chọn linh kiện, tính toán, mô phỏng cũng như kiểm tra và đo đạc từ đó tiến hành kết nối các bộ phận tạo nên một hệ thống radar hoàn chỉnh. Dựa vào các thông số đo đạc được từ hệ thống radar, chúng ta có được dữ liệu đầu vào cần thiết cho hệ thống xử lý dữ liệu ở chương 5. Trong phần tiếp theo, chúng ta sẽ tiến hành thiết kế giải thuật cho các chế độ làm việc của hệ thống radar dựa vào các thông số đo đạc được ở chương 4 và các phương trình toán cũng như phương pháp xử lý dữ liệu được trình bày ở chương 3.

Chương 5

Hệ thống xử lý tín hiệu Radar và phân tích kết quả thử nghiệm

Trong chương này, giải thuật xử lý dữ liệu được thực hiện trên Matlab sẽ được trình bày với sự kết hợp giữa các phương trình tính toán và phương pháp xử lý dữ liệu đối với hệ thống CW radar và FMCW radar được trình bày ở chương 3, từ đó áp dụng giải thuật trên để thực hiện các phép đo về vận tốc cũng như khoảng cách của vật thể đối với các thông số đầu vào được đo kiểm ở chương 4. Kết quả thử nghiệm sẽ được phân tích nhằm đánh giá sai số của giải thuật và hệ thống, từ đó thực hiện những bước cải tiến cho hệ thống để đạt được kết quả tốt hơn.

5.1 CW Radar

5.1.1 Giải thuật Matlab

Từ phương trình 3.7 ta có:

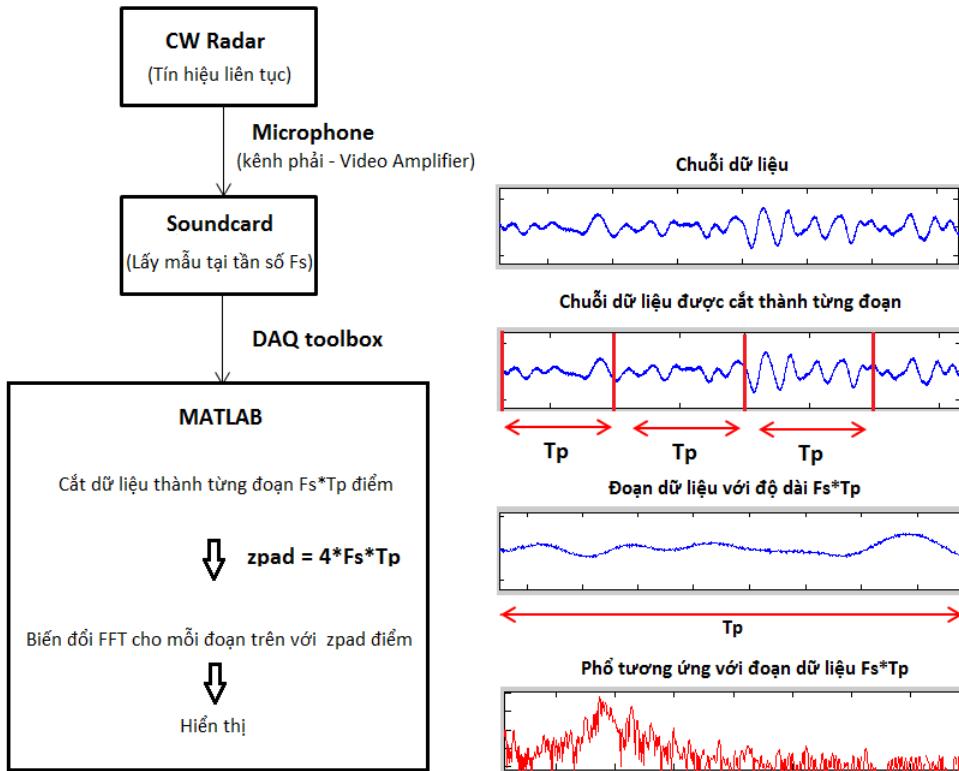
$$v = \frac{c}{2f_o} f_d$$

Đối với hệ thống CW radar, tần số của tín hiệu tại ngõ ra bộ Video Amplifier (f_d) sẽ cho ta thông tin về vận tốc vận thể. Hình 4.1 cho ta thấy, tín hiệu của hệ thống CW radar chỉ sử dụng 1 kênh tín hiệu với kênh phải (right channel) của đầu thu *microphone* là tín hiệu từ ngõ ra của bộ Video Amplifier và kênh trái (left channel) được nối với đất (GND).

Trong trường hợp này, phương pháp được dùng để xử lý dữ liệu (đã được trình bày ở chương 3) đó là biến đổi *Fourier* rời rạc - DFT - đối với tín hiệu tại ngõ ra bộ Video Amplifier (tín hiệu được số hóa tại *soundcard* thông qua đầu thu *microphone* trên laptop).

Sơ đồ giải thuật xử lý dữ liệu cho hệ thống CW radar được minh họa ở hình 5.1. Trong đó, tín hiệu ngõ ra của hệ thống CW Radar (ngõ ra bộ Video Amplifier) là tín hiệu liên tục và chỉ bao gồm một kênh tín hiệu (kênh phải) được kết nối vào *soundcard* của laptop thông qua đầu thu *microphone*. Tại *soundcard*, tín hiệu được lấy mẫu với tần số F_s trở thành tín hiệu số rời rạc. Trong MATLAB ta sử dụng công cụ *Data Acquisition Toolbox* để thực hiện lấy dữ liệu theo từng đoạn với kích thước $F_s * T_p$ điểm. Dữ liệu vừa được lấy sẽ được nhồi thêm các *bit*

θ để đạt được kích thước là $zpad$ điểm ($zpad = 4*Fs*Tp$). Sau đó, dữ liệu vừa được *nhoè bit* (zeros padding) sẽ được biến đổi FFT (Fast Fourier Transform) để chuyển tín hiệu sang miền tần số, từ đó xác định được các vạch phổ tương ứng với vận tốc của các vật thể khác nhau.



Hình 5.1: Sơ đồ giải thuật xử lý tín hiệu đối với hệ thống CW Radar

5.1.2 Cấu hình hệ thống

Các bước thiết lập hệ thống được trình bày như sau:

- **Bước 1:** Kết nối Vtune của bộ VCO với nguồn áp DC cố định trong khoảng $0 \div 5$ [VDC].
- **Bước 2:** Kết nối đầu thu *microphone* vào laptop.
- **Bước 3:** Đặt radar hướng vào các vật thể cần xác định vận tốc.
- **Bước 4:** Lưu trữ và xử lý dữ liệu.

Giao diện GUI (Graphical User Interface) được thiết kế trên MATLAB để thu thập dữ liệu thời gian thực được minh họa ở hình 5.4. Trong đó, trạng thái hiện thời, ngày và giờ được hiển thị ở các ô *Status*, *Clock* và *Date*. Đặc biệt, các thông số đầu vào cho hệ thống được thiết lập ở các ô: Fs [Hz], Tp [ms] và fc [MHz]. Ở đây, thông số f_c tương ứng với thông số f_o ở phương



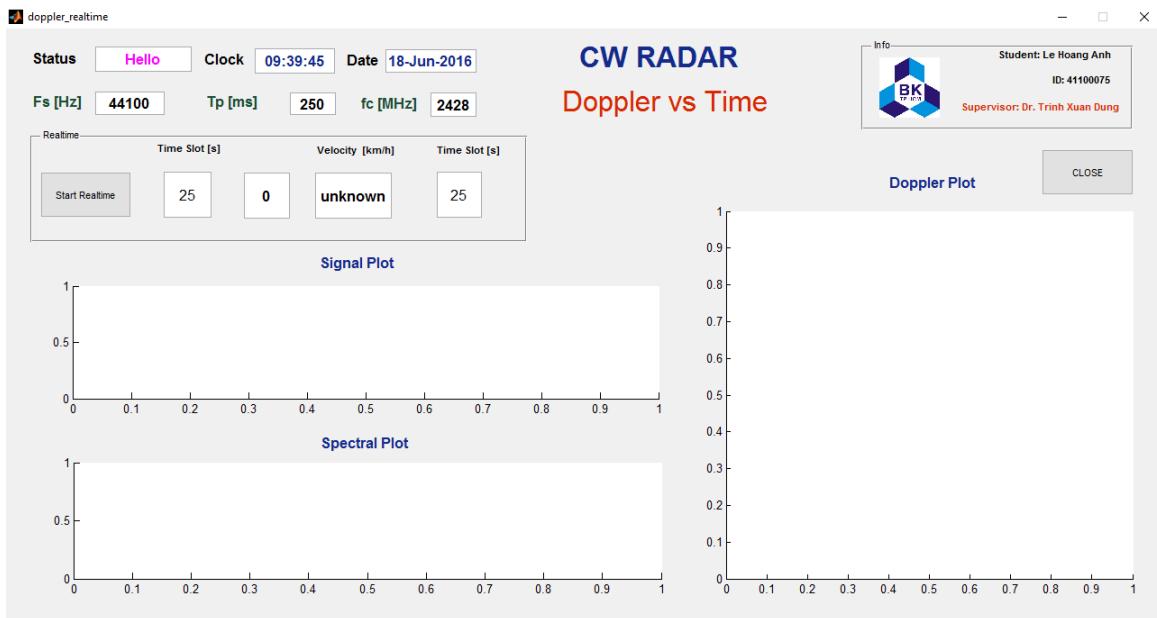
Hình 5.2: Thiết lập hệ thống radar xác định vận tốc vật thể



Hình 5.3: Thu thập dữ liệu về vận tốc của vật thể (xe máy)

trình 3.7. Nút *Start Realtime* sẽ được nhấn khi cần thực hiện phép đo vận tốc trong khoảng thời gian được thiết đặt ở ô *Time Slot (s)*. Sau khi nút *Start Realtime* được nhấn, kết quả đo sẽ được hiển thị ở các đồ thị *Signal Plot*, *Spectral Plot* và *Doppler Plot* lần lượt theo từng khoảng thời gian *Tp [ms]*.

Đồ thị *Signal Plot* thể hiện đoạn dữ liệu trong khoảng thời gian *Tp [ms]*, đồ thị *Spectral Plot* thể hiện phổ của đoạn dữ liệu trong khoảng thời gian *Tp [ms]* và đồ thị *Doppler Plot* là kết quả của việc ghép nối tất cả các *frame* phổ của đồ thị *Spectral Plot* ở dạng ma trận, từ đó ta có đồ thị vận tốc theo thời gian của các vật thể.

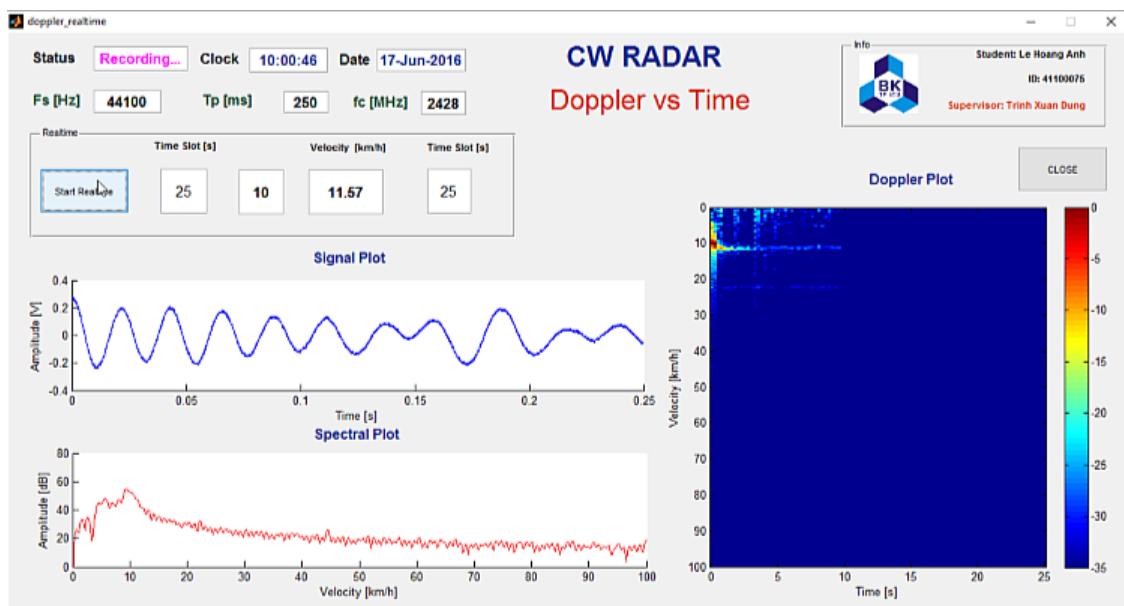


Hình 5.4: Giao diện GUI được thiết xử lý dữ liệu vận tốc thời gian thực

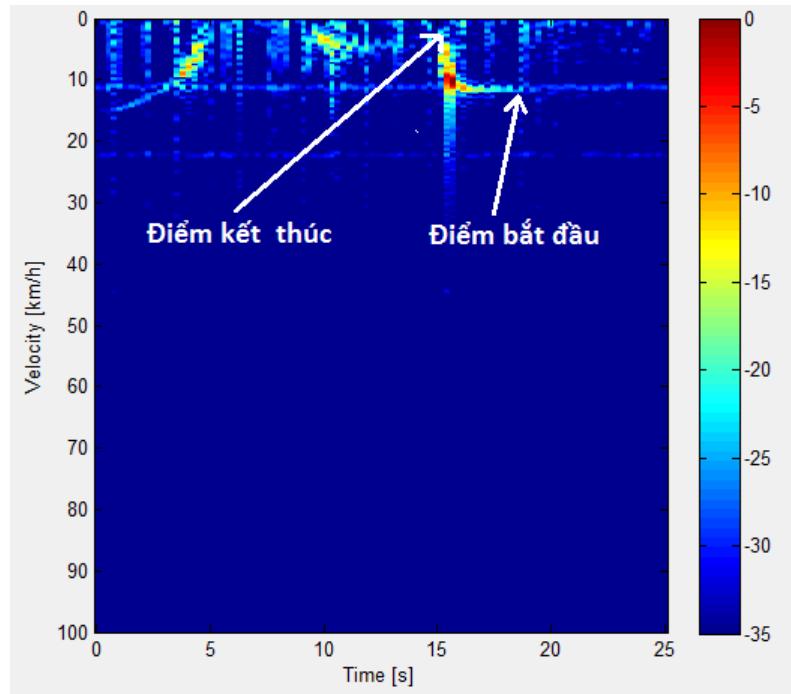
5.1.3 Chạy thử nghiệm và phân tích kết quả

Kết quả đo vận tốc được thử nghiệm ở các vận tốc 10 [km/h] (Hình 5.5, 5.6), 20 [km/h] (Hình 5.7, 5.8), 30 [km/h] (Hình 5.9, 5.10), 40 [km/h] (Hình 5.11, 5.12).

Đối với các hình 5.6, 5.8, 5.10, 5.12: điểm bắt đầu được hiểu là thời điểm tại đó vật thể lọt vào tầm đo của hệ thống radar và điểm kết thúc là thời điểm vật thể vượt ra ngoài búp sóng của anten. Do vậy, ta thấy rằng, khi vật thể lọt ra khỏi búp sóng anten, tín hiệu vận tốc đột ngột chuyển về 0. Ngoài ra, với các vật thể di chuyển chậm (Hình 5.6) sự chuyển đổi từ vận tốc hiện tại về 0 khi vật thể vượt ra ngoài búp sóng anten diễn ra khá chậm, trong khi đối với các vật thể chuyển động với vận tốc nhanh hơn (Hình 5.12) sự chuyển đổi đó diễn ra khá nhanh.



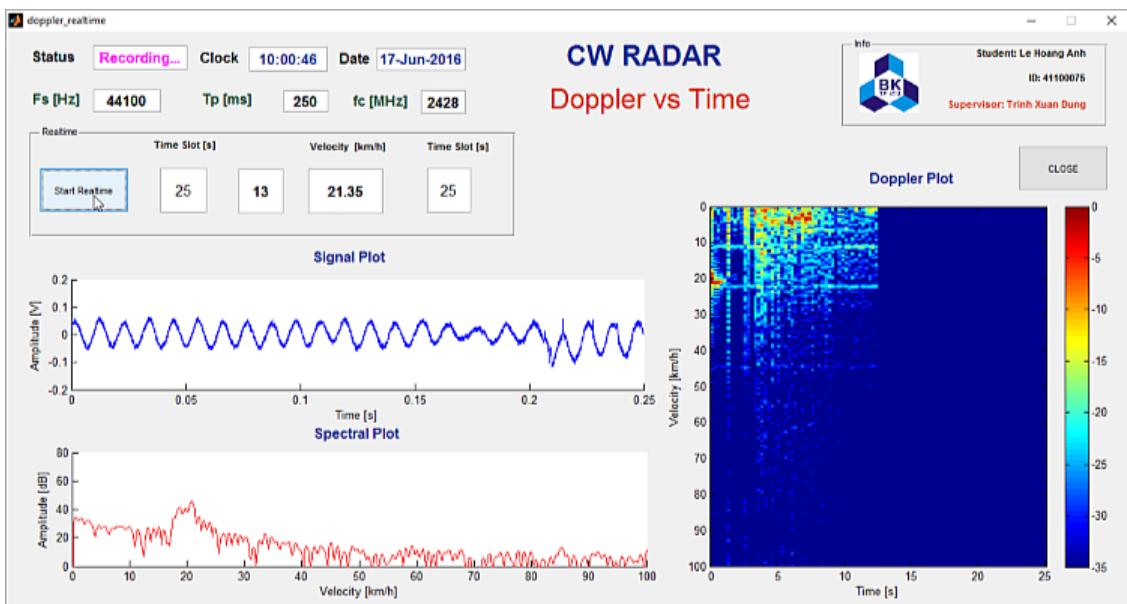
Hình 5.5: Giao diện GUI xác định vận tốc 10 km/h



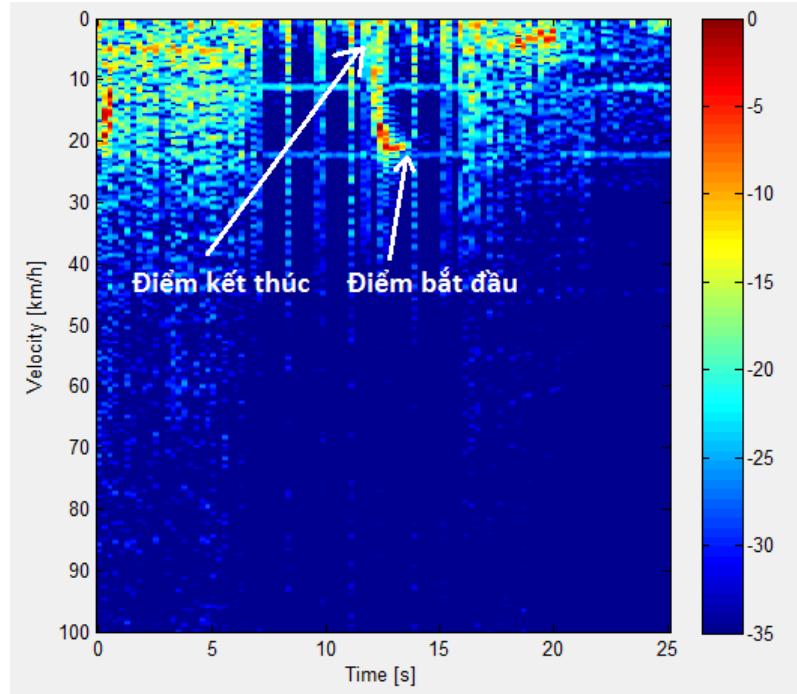
Hình 5.6: Đồ thị Doppler xác định vận tốc 10 km/h trong 25 s

Lần đo	Vận tốc ước lượng [km/h]	Kết quả đo thực tế [km/h]	Sai số [%]
Lần 1	10	10.68	6.8
Lần 2	10	11.34	13.4
Lần 3	10	10.79	7.9

Bảng 5.1: Kết quả đo thử nghiệm vận tốc 10 km/h



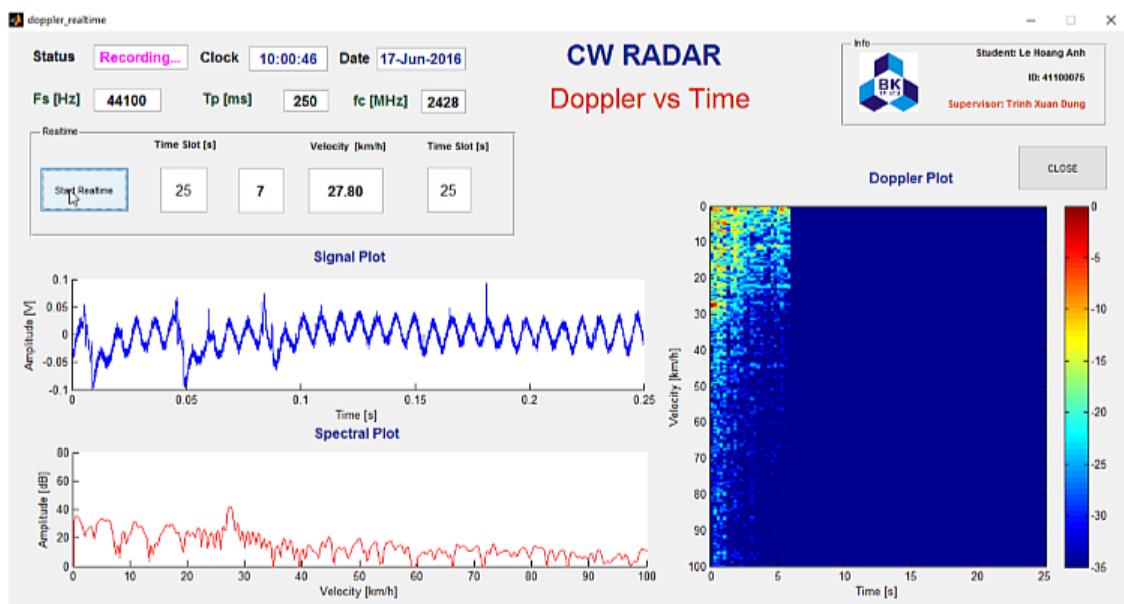
Hình 5.7: Giao diện GUI xác định vận tốc 20 km/h



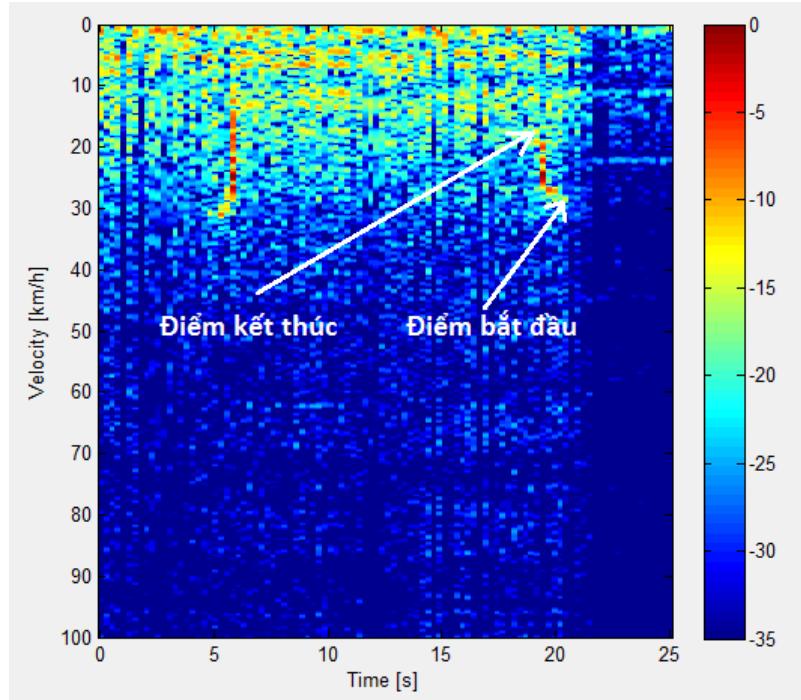
Hình 5.8: Đồ thị Doppler xác định vận tốc 20 km/h trong 25 s

Lần đo	Vận tốc ước lượng [km/h]	Kết quả đo thực tế [km/h]	Sai số [%]
Lần 1	20	22.02	10.1
Lần 2	20	21.35	6.75
Lần 3	20	22.24	11.2

Bảng 5.2: Kết quả đo thử nghiệm vận tốc 20 km/h



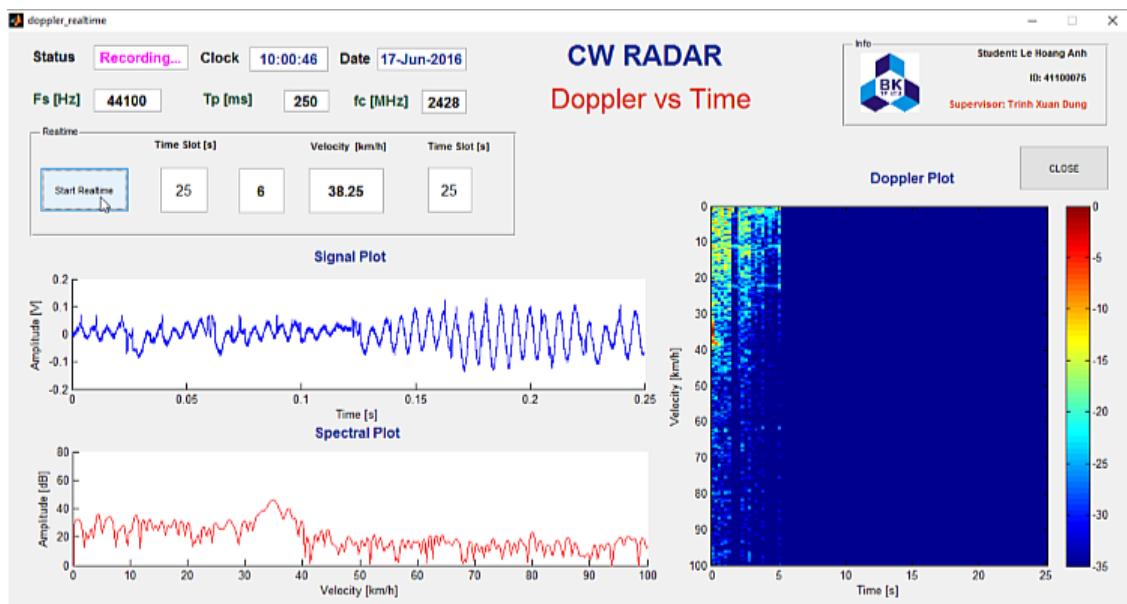
Hình 5.9: Giao diện GUI xác định vận tốc 30 km/h



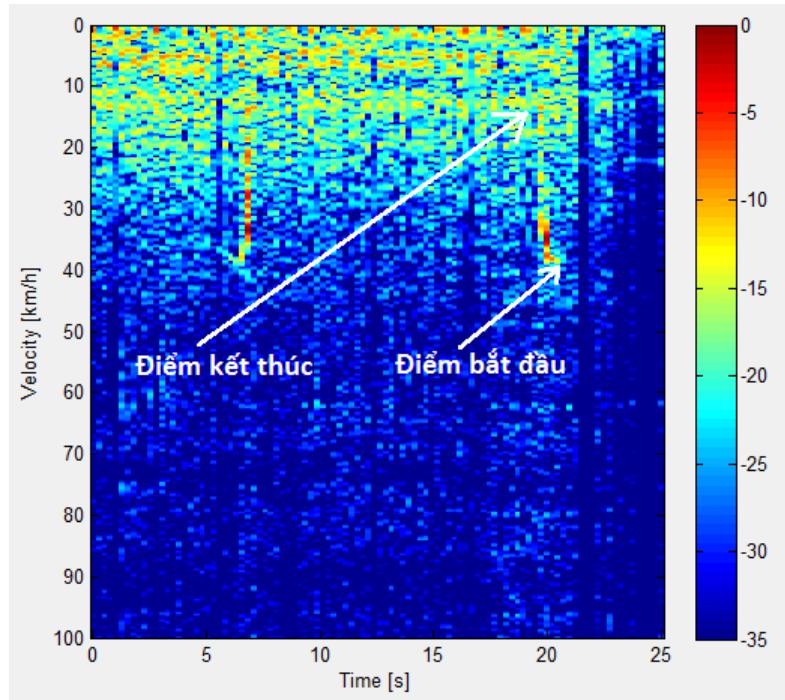
Hình 5.10: Đồ thị Doppler xác định vận tốc 30 km/h trong 25 s

Lần đo	Vận tốc ước lượng [km/h]	Kết quả đo thực tế [km/h]	Sai số [%]
Lần 1	30	28.47	5.1
Lần 2	30	27.34	8.9
Lần 3	30	27.80	7.3

Bảng 5.3: Kết quả đo thử nghiệm vận tốc 30 km/h



Hình 5.11: Giao diện GUI xác định vận tốc 40 km/h



Hình 5.12: Đồ thị Doppler xác định vận tốc 40 km/h trong 25 s

Lần đo	Vận tốc ước lượng [km/h]	Kết quả đo thực tế [km/h]	Sai số [%]
Lần 1	40	40.26	0.7
Lần 2	40	38.25	4.4
Lần 3	40	41.59	4.0

Bảng 5.4: Kết quả đo thử nghiệm vận tốc 40 km/h

Kết quả đo thử nghiệm ở các vận tốc khác nhau được trình bày ở bảng 5.1, 5.2, 5.3, 5.4. Tuy nhiên, trong phép đo này vật thể được sử dụng đo vận tốc là xe máy, do vậy tốc độ ước lượng (10 km/h, 20 km/h, 30 km/h, 40 km/h) được đưa ra có thể không hoàn toàn chính xác do vạch hiển thị trên xe máy không cho ta biết chính xác vận tốc của chiếc xe. Mức sai số trên thực tế có thể thấp hơn mức sai số được đưa ra trên bảng kết quả.

5.2 FMCW Radar

5.2.1 Giải thuật Matlab

Từ phương trình 3.13 ta có:

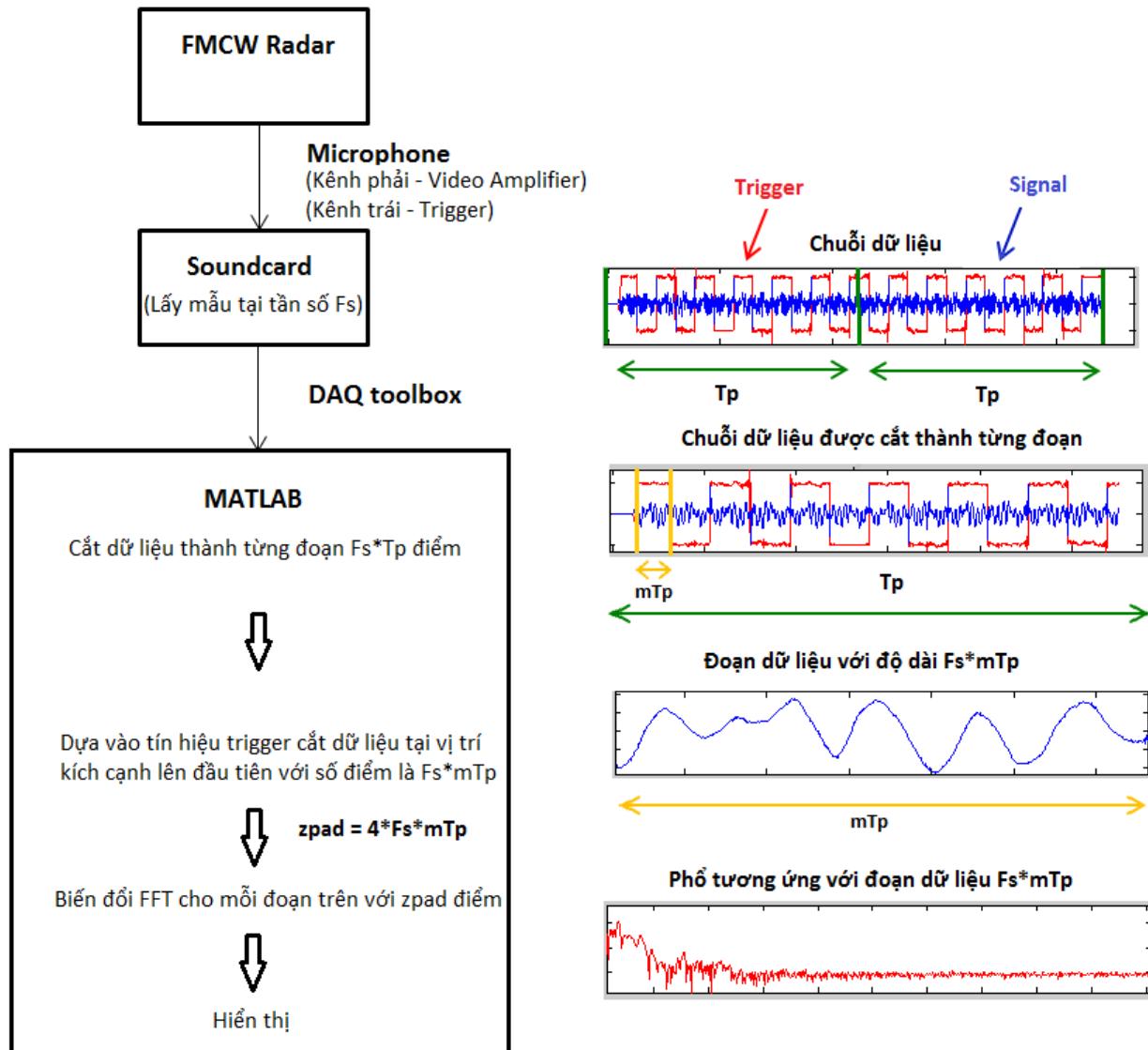
$$R = \frac{cT_{rp}}{2BW} f_b$$

Dối với hệ thống FMCW radar, tần số của tín hiệu tại ngõ ra bộ Video Amplifier (f_b) sẽ cho ta thông tin về khoảng cách của vật thể. Hình 4.2 cho ta thấy, tín hiệu của hệ thống FMCW radar sẽ bao gồm 2 kênh tín hiệu với kênh phải (right audio) là tín hiệu từ ngõ ra của bộ Video Amplifier và kênh trái (left audio) là tín hiệu xung vuông (trigger) nhằm cung cấp thông tin về thời điểm bắt đầu cũng như kết thúc của tín hiệu điều chế.

Trong trường hợp này, phương pháp được dùng để xử lý dữ liệu (đã được trình bày ở chương 3) đó là biến đổi Fourier rời rạc - DFT - đối với tín hiệu tại ngõ ra bộ Video Amplifier (tín hiệu được số hóa tại soundcard thông qua đầu thu microphone trên laptop).

Sơ đồ giải thuật xử lý dữ liệu cho hệ thống CW radar được minh họa ở hình 5.13. Trong đó, tín hiệu ngõ ra của hệ thống FMCW Radar (ngõ ra bộ Video Amplifier) là tín hiệu liên tục bao gồm hai kênh tín hiệu (kênh phải và kênh trái) được kết nối vào soundcard của laptop thông qua đầu thu microphone. Tại soundcard, tín hiệu trên hai kênh được lấy mẫu với tần số F_s trở thành tín hiệu số rời rạc. Trong MATLAB ta sử dụng công cụ *Data Acquisition Toolbox* để thực hiện lấy dữ liệu trên hai kênh theo từng đoạn với kích thước $F_s * T_p$ điểm.

Với mỗi đoạn dữ liệu, dựa vào tín hiệu trigger (kênh trái) của mỗi đoạn dữ liệu, tín hiệu trên kênh phải sẽ được cắt bắt đầu từ kích cạnh lên của dữ liệu với số điểm là $F_s * mTp$ (với mTp tương ứng với T_{rp} trong phương trình 3.13). Dữ liệu vừa được lấy sẽ được nhồi thêm các bit 0 để đạt được kích thước là $zpad$ điểm ($zpad = 4 * F_s * mTp$). Sau đó, dữ liệu vừa được nhồi bit (zeros padding) sẽ được biến đổi FFT (Fast Fourier Transform) để chuyển tín hiệu sang miền tần số, từ đó xác định được các vạch phổ tương ứng với khoảng cách của các vật thể khác nhau.



Hình 5.13: Sơ đồ giải thuật xử lý tín hiệu đối với hệ thống FMCW Radar

5.2.2 Cấu hình hệ thống

Các bước thiết lập hệ thống được trình bày như sau:

- **Bước 1:** Khởi động bộ điều chế tín hiệu (Modulator) và kết nối ngõ ra bộ điều chế với chân Vtune của bộ VCO.
- **Bước 2:** Điều chỉnh độ rộng xung tam giác với nửa chu kỳ (T_{rp}) và băng thông tín hiệu ($BW = f_{start} - f_{stop}$) điều chế trong khoảng phù hợp.
- **Bước 3:** Kết nối đầu thu *microphone* vào laptop.
- **Bước 4:** Đặt radar hướng vào các vật thể cần xác định khoảng cách.
- **Bước 5:** Lưu trữ và xử lý dữ liệu.



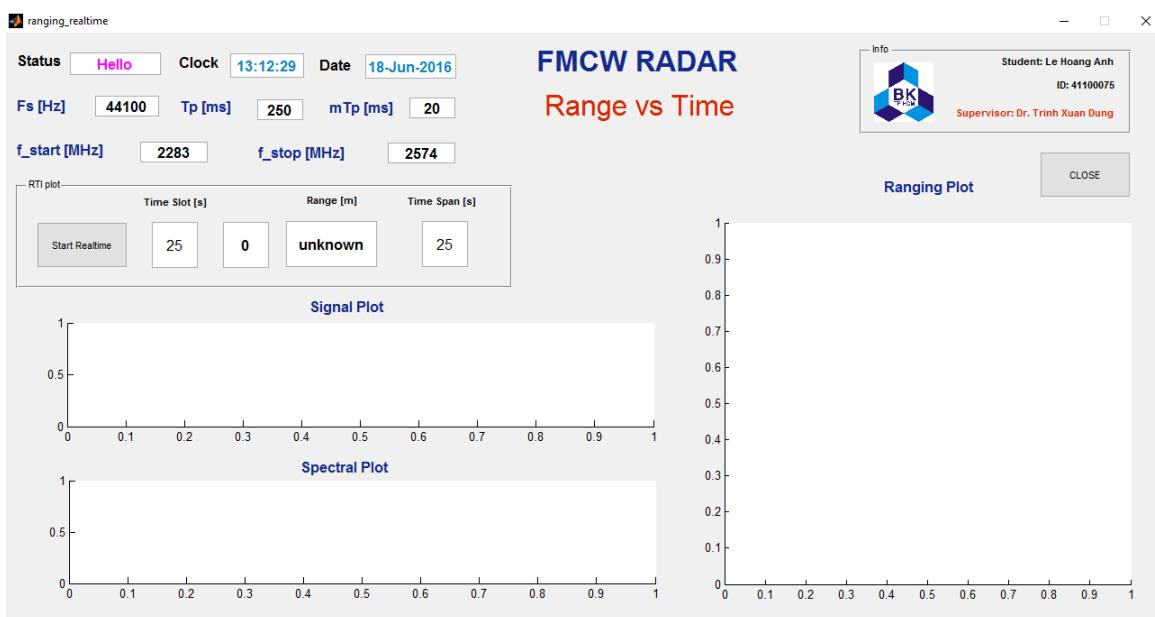
Hình 5.14: Thiết lập hệ thống radar xác định khoảng cách vật thể



Hình 5.15: Vật thể dùng để xác định khoảng cách

Giao diện GUI (Graphical User Interface) được thiết kế trên MATLAB để thu thập dữ liệu thời gian thực được minh họa ở hình 5.16. Trong đó, trạng thái hiện thời, ngày và giờ được hiển thị ở các ô *Status*, *Clock* và *Date*. Đặc biệt, các thông số đầu vào cho hệ thống được thiết lập ở các ô: F_s [Hz], T_p [ms], mTp [ms] và f_start [MHz], f_stop [MHz]. Ở đây, thông số mTp tương ứng với thông số T_{rp} và $f_start - f_stop$ tương ứng với BW ở phương trình 3.13. Nút *Start Realtime* sẽ được nhấn khi cần thực hiện phép đo khoảng cách trong khoảng thời gian được thiết đặt ở ô *Time Slot (s)*. Sau khi nút *Start Realtime* được nhấn, kết quả đo sẽ được hiển thị ở các đồ thị *Signal Plot*, *Spectral Plot* và *Ranging Plot* lần lượt theo từng khoảng thời gian T_p [ms].

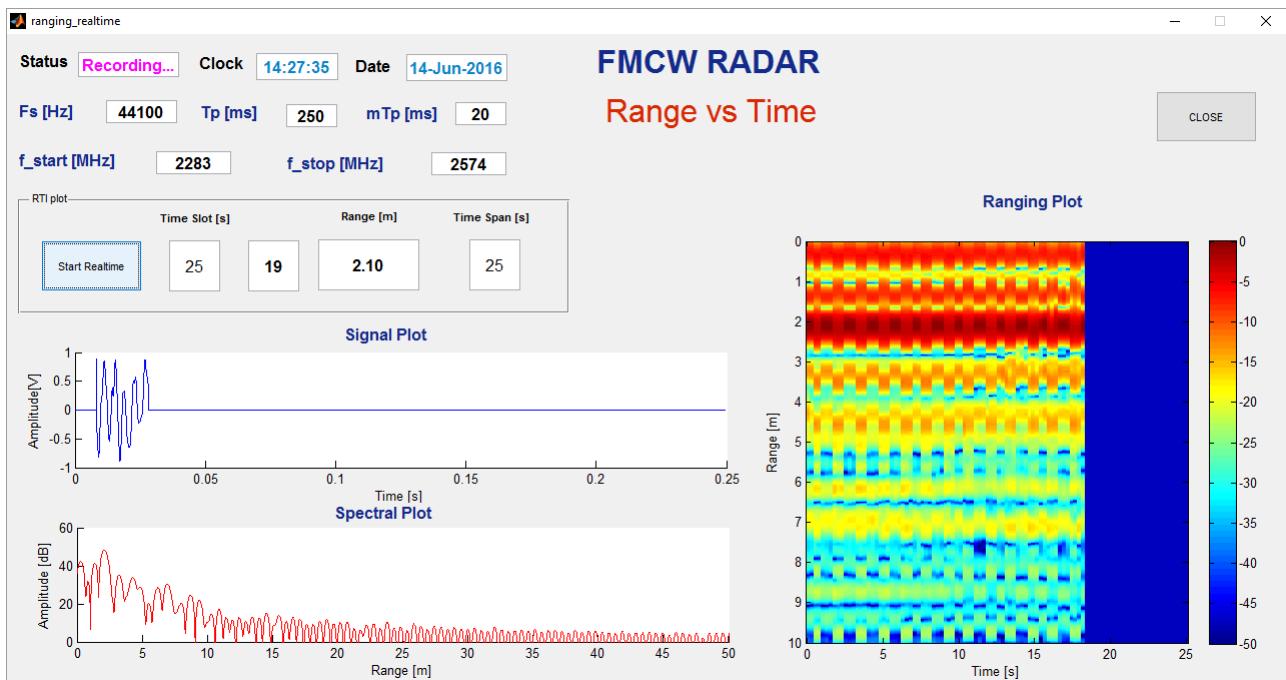
Đồ thị *Signal Plot* thể hiện đoạn dữ liệu trong khoảng thời gian mTp [ms], đồ thị *Spectral Plot* thể hiện phổ của đoạn dữ liệu trong khoảng thời gian mTp [ms] và đồ thị *Ranging Plot* là kết quả của việc ghép nối tất cả các *frame* phổ của đồ thị *Spectral Plot* ở dạng ma trận, từ đó ta có đồ thị khoảng cách theo thời gian của các vật thể.



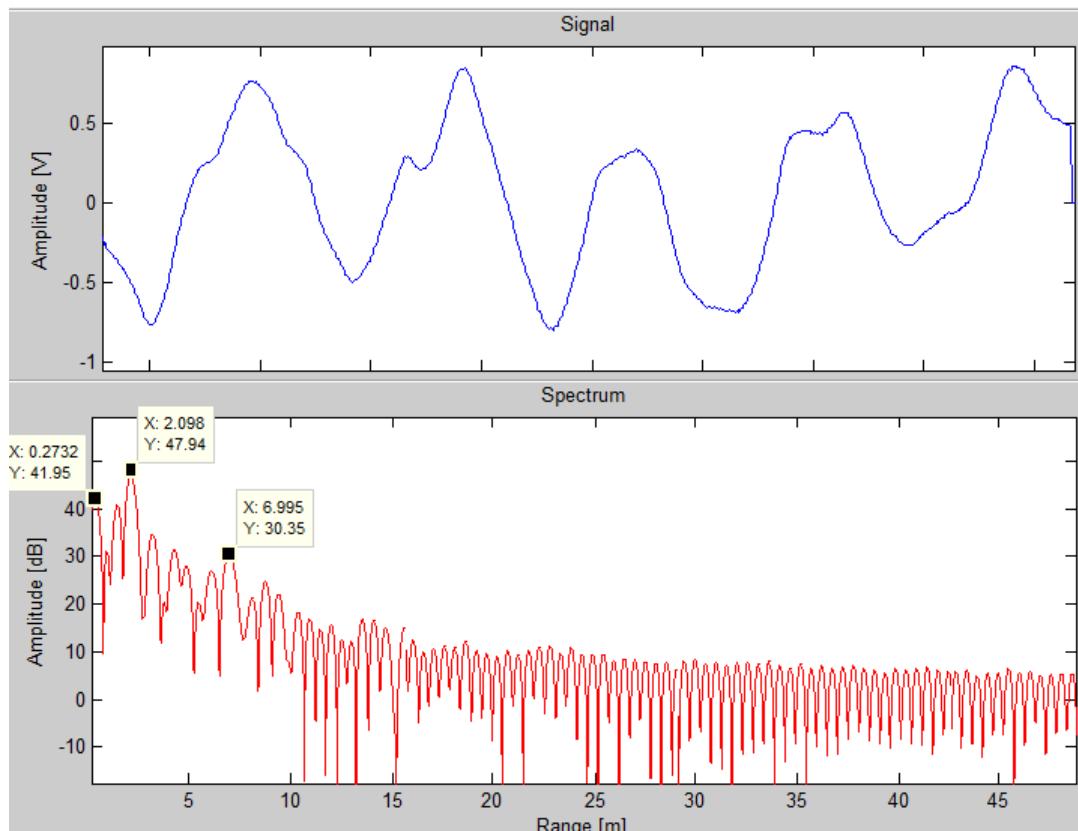
Hình 5.16: Giao diện GUI được thiết xử lý dữ liệu khoảng cách thời gian thực

5.2.3 Chạy thử nghiệm và phân tích kết quả

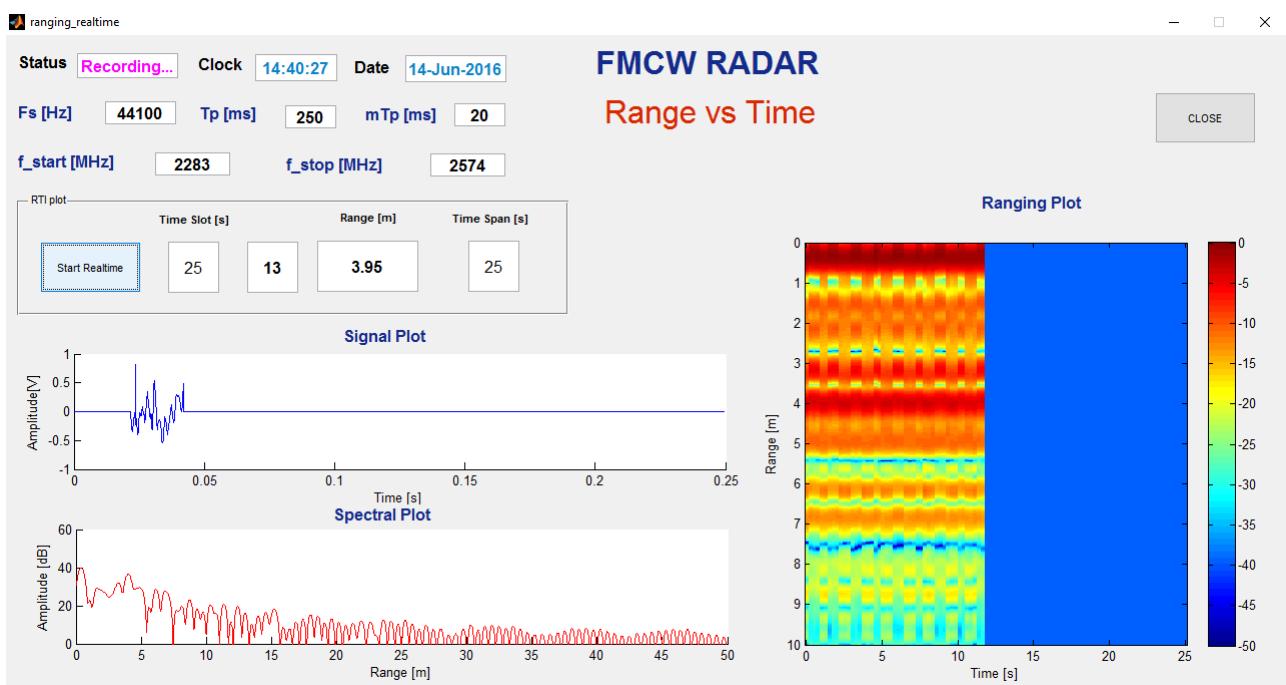
Sau đây chúng ta cùng phân tích kết quả thu được đối với việc xác định khoảng cách của các vật thể tĩnh lần lượt ở các khoảng cách 2m (Hình 5.17, 5.18), 4m (Hình 5.19, 5.20), 6m (Hình 5.21, 5.22).



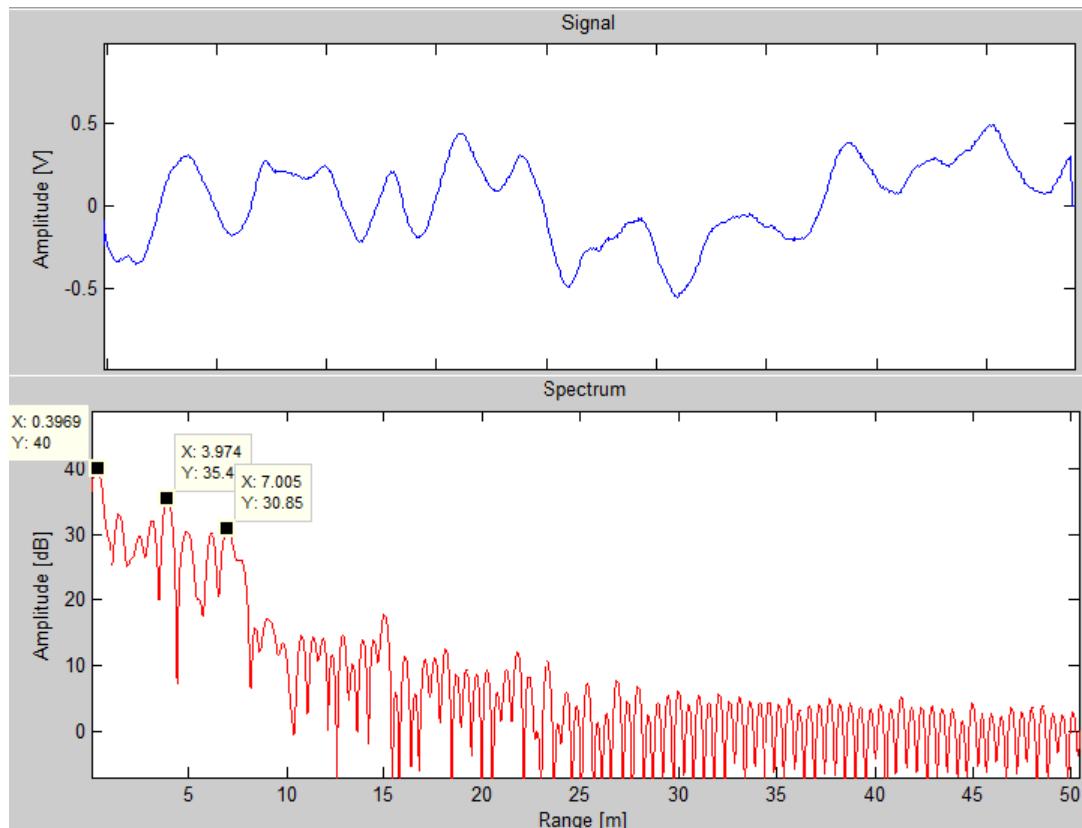
Hình 5.17: Giao diện GUI xác định khoảng cách 2m



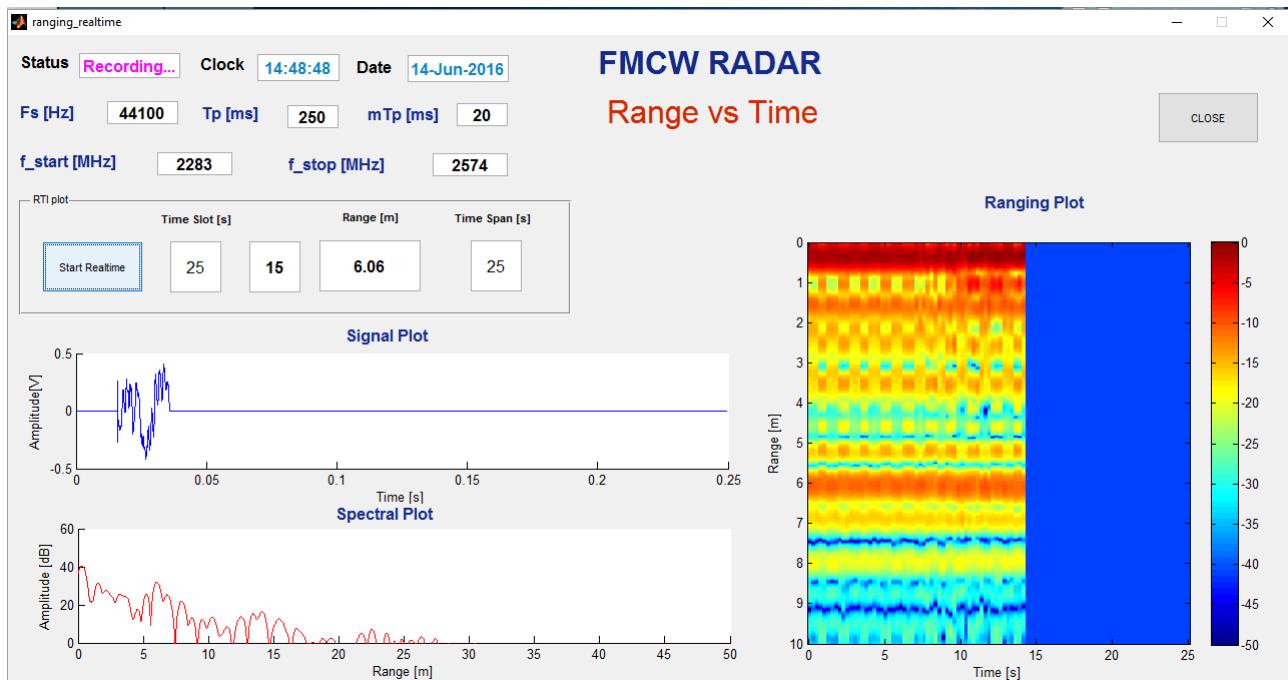
Hình 5.18: Vật thể đặt tại khoảng cách 2m



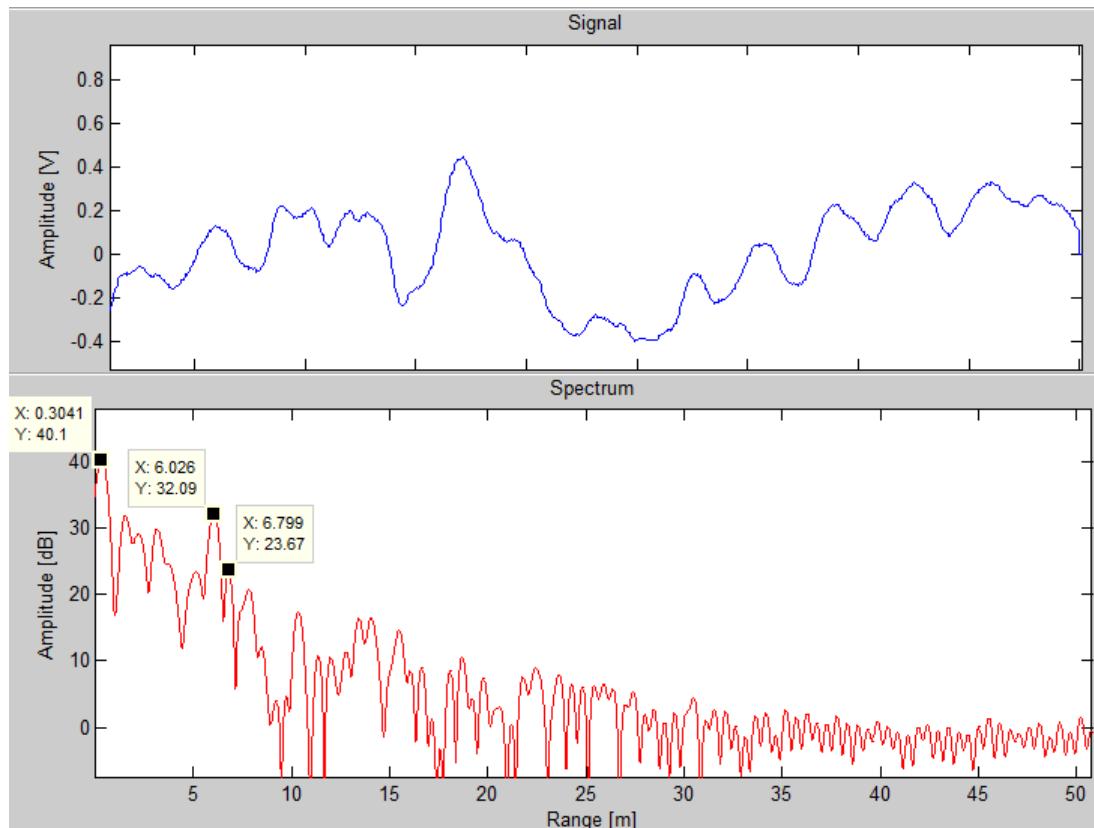
Hình 5.19: Giao diện GUI xác định khoảng cách 4m



Hình 5.20: Vật thể đặt tại khoảng cách 4m



Hình 5.21: Giao diện GUI xác định khoảng cách 6m



Hình 5.22: Vật thể đặt tại khoảng cách 6m

Lần lượt quan sát các hình [5.18](#), [5.20](#), [5.22](#). Ta thấy rằng ở mỗi hình trên luôn xuất hiện 3 dindh phổ tại các vị trí: gần vị trí xấp xỉ 0.3 m, vị trí ta đang xét và tại vị trí xấp xỉ 7m.

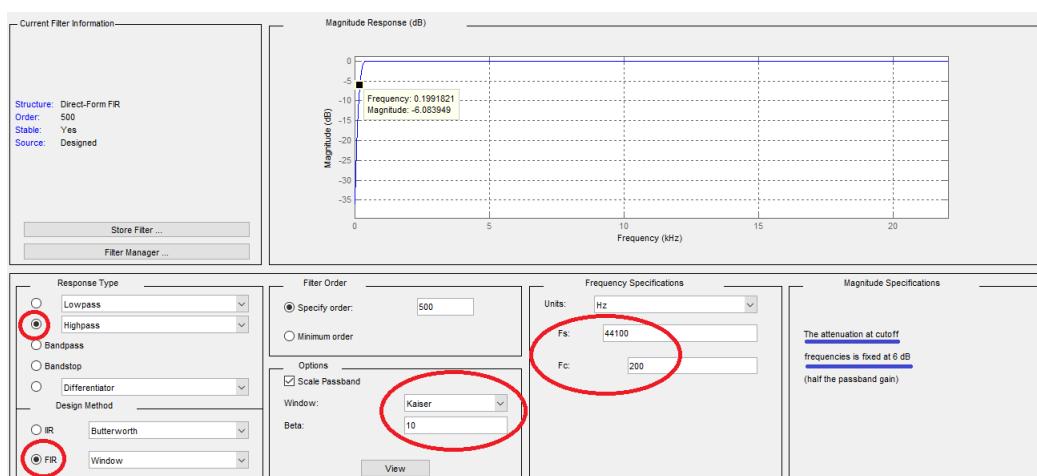
Tại vị trí xấp xỉ 0.3 m (near zero) ta dự đoán rằng vạch phổ trên xuất hiện do hiện tượng *coupling* giữa hai anten phát và thu. Ta biết rằng, khi hai anten đặt gần nhau sẽ xảy ra hiện tượng rò rỉ tín hiệu từ anten này sang anten kia (Coupling). Trong trường hợp này hai anten ở radar được đặt khá gần nhau (4 inches $\simeq 0.1016$ m), do vậy luôn tồn tại một tín hiệu rất lớn từ anten lọt vào anten thu và hệ thống sẽ thu nhận tín hiệu đó ở dạng một vật thể được đặt rất gần radar.

Tại vị trí xấp xỉ 7m, ta dự đoán rằng vạch phổ trên xuất hiện là do phản xạ của bức tường ở cuối phòng thí nghiệm (Hình [5.15](#)). Ngoài ra, do điều kiện không lý tưởng của phòng thí nghiệm, ta thấy có những vạch phổ xuất hiện ở tầm từ 2m đến 3m với mức biên độ ở tầm 30 dB (Hình [5.20](#), [5.22](#)). Như vậy, quá trình thu thập kết quả nên được thực hiện ở những khu vực rộng rãi và ít vật chấn nhằm hạn chế những tín hiệu không mong muốn.

Tại vị trí ta đang xét, ta thấy rằng ở các vị trí gần radar mức tín hiệu thu được khá tốt, tuy nhiên càng ra xa radar mức tín hiệu tại vị trí ta đang xét có xu hướng giảm dần về biên độ do sự suy hao theo khoảng cách của sóng điện từ.

5.2.3.1 Dùng bộ lọc thông cao để loại bỏ *Coupling*

Có nhiều cách để loại bỏ hiện tượng *coupling* giữa hai anten, trong đó một đề xuất được đưa ra đó là cho tín hiệu đi qua bộ lọc thông cao với tần số cắt tương ứng với vị trí mà tại đó ta muốn loại bỏ tín hiệu. Sau đây, một bộ lọc số FIR được thiết kế trên công cụ *FDA toolbox* của Matlab để loại bỏ tín hiệu *coupling* giữa anten phát và thu (Hình [5.23](#)).

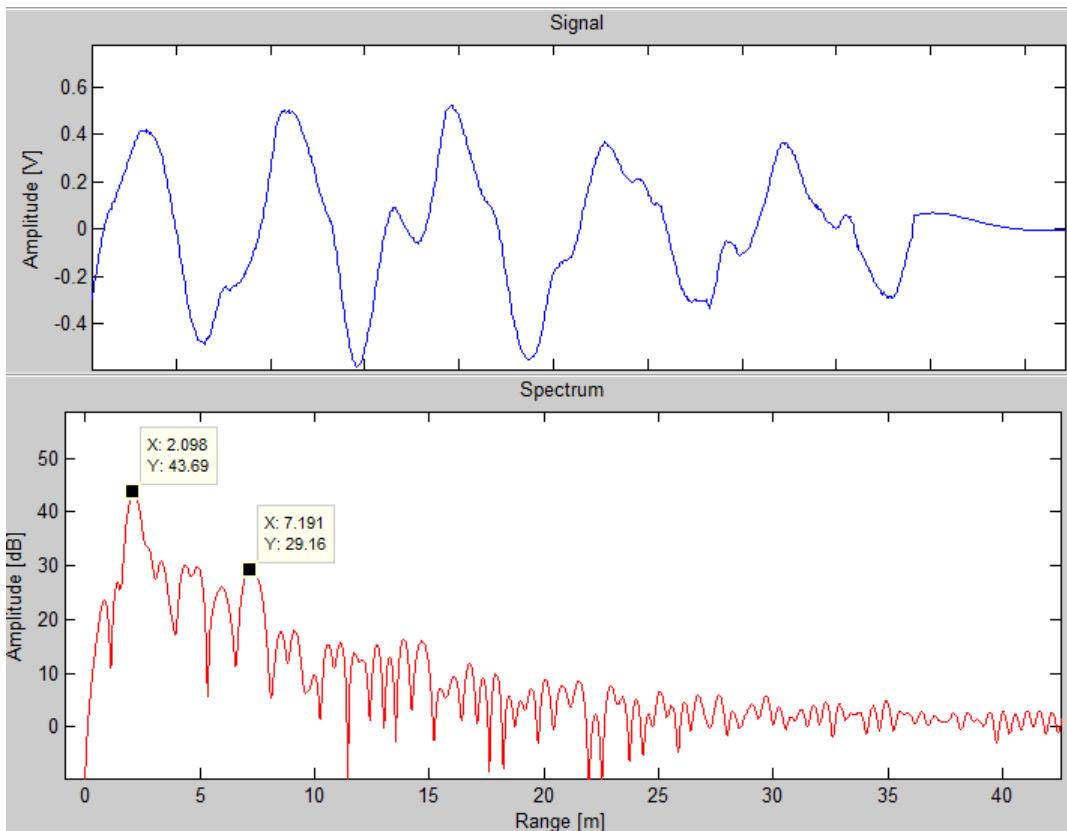


Hình 5.23: Bộ lọc FIR thiết kế trên công cụ FDA toolbox của Matlab ($f_c = 200Hz$)

Ta thấy rằng tín hiệu *coupling* nằm ở vị trí xấp xỉ 0.3 m, Từ phương trình [3.13](#) ta tính toán được tần số tương ứng với vị trí 0.3 m là 29 Hz. Đồng thời, các vị trí đặt vật thể nằm trong

khoảng lớn hơn hoặc bằng 2m. Như vậy, ta chọn tần số cắt tương ứng với vị trí 2m. Ở đây bộ lọc được thiết kế với tần số cắt 200 Hz (tương ứng với vị trí 2.062 m).

Sau đây, chúng ta cùng xem xét các tín hiệu sau khi được lọc ở những vị trí 2m (Hình 5.24), 4m (Hình 5.25), 6m (Hình 5.26).

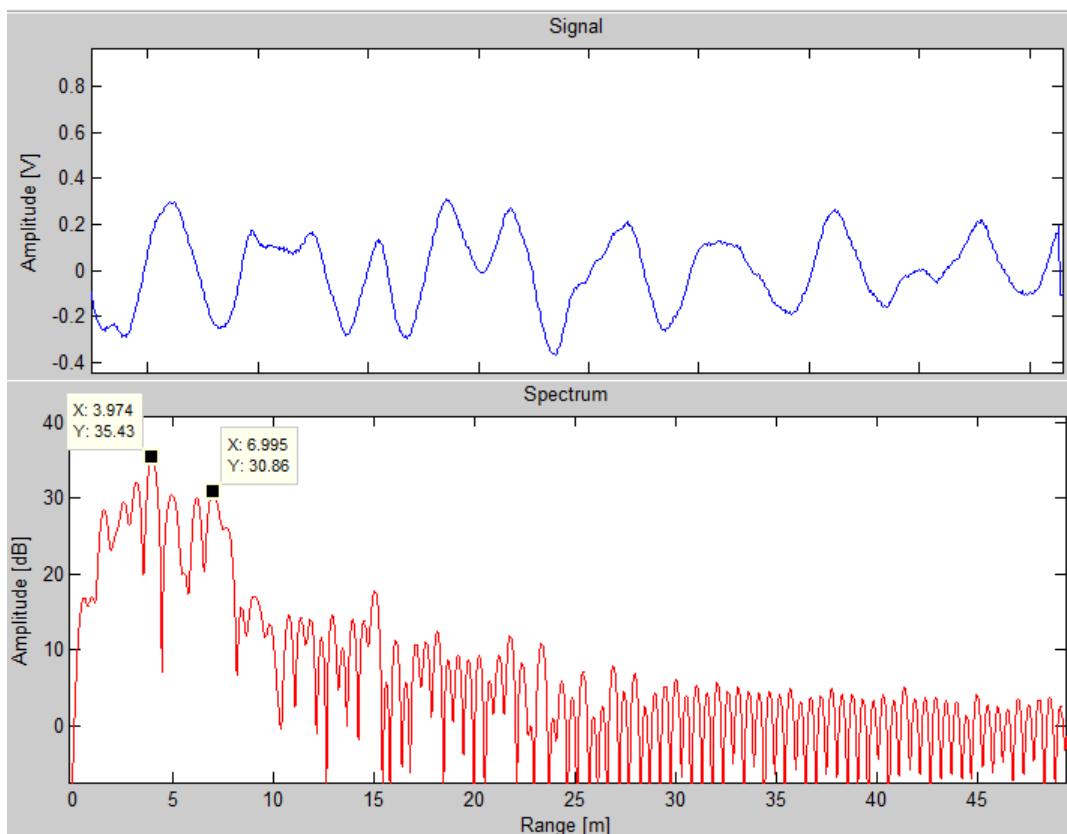


Hình 5.24: Vật thể đặt tại khoảng cách 2m khi sử dụng bộ lọc ($f_c = 200Hz$)

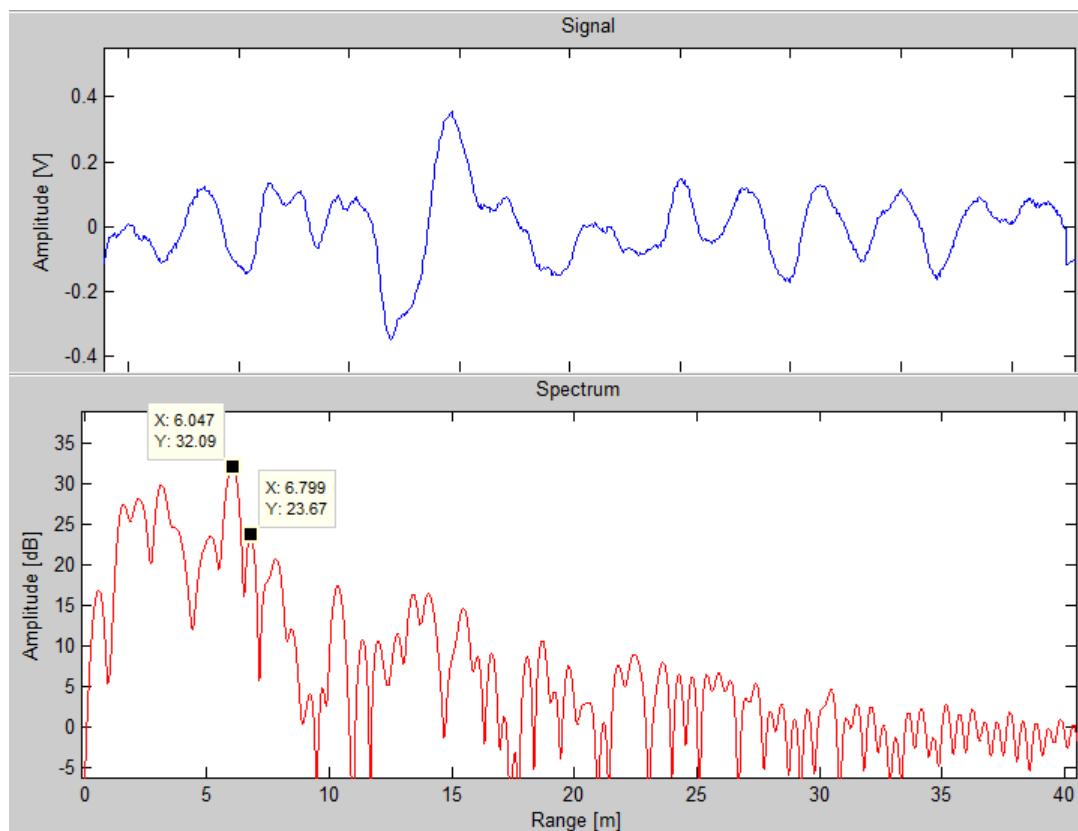
Lần lượt quan sát các hình 5.24, 5.25, 5.26. Ta thấy rằng, tín hiệu *coupling* (ở vị trí gần 0) của hai anten đã được triêu hoàn toàn. Từ đó, ta thấy rằng việc áp dụng bộ lọc thích hợp sẽ cho ta đáp ứng của tín hiệu tốt hơn. Tuy nhiên, trong trường hợp này, bộ lọc được thiết kế ở tần số cắt 200 Hz (tương ứng vị trí 2.062 m) do vậy vẫn chưa loại bỏ được ảnh hưởng của những tín hiệu không mong muốn xuất hiện trong tầm từ 2m đến 3m (Hình 5.25, 5.26).

Sau đây, ta sẽ thiết kế bộ lọc tương tự với bộ lọc được thiết kế ở trên với tần số cắt 350 Hz (tương ứng với vị trí 3.608 m) nhằm loại bỏ ảnh hưởng của các tín hiệu trong tầm dưới 4m đối với các vật thể đặt tại vị trí trên 4m.

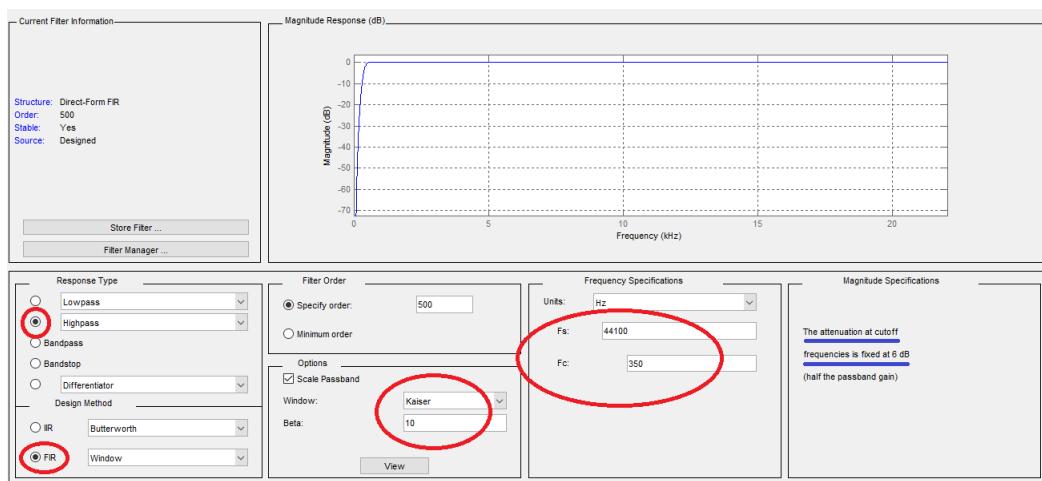
Như vậy, với việc sử dụng hoặc không sử dụng bộ lọc đều cho ta kết quả sai số phép đo ở mức dưới 5%, tuy nhiên, với việc sử dụng bộ lọc sẽ giúp ta loại bỏ được các tín hiệu không mong muốn và phô của tín hiệu cần xác định được thể hiện rõ ràng hơn qua đó giúp ta phân biệt được phô của các vật thể tương ứng.



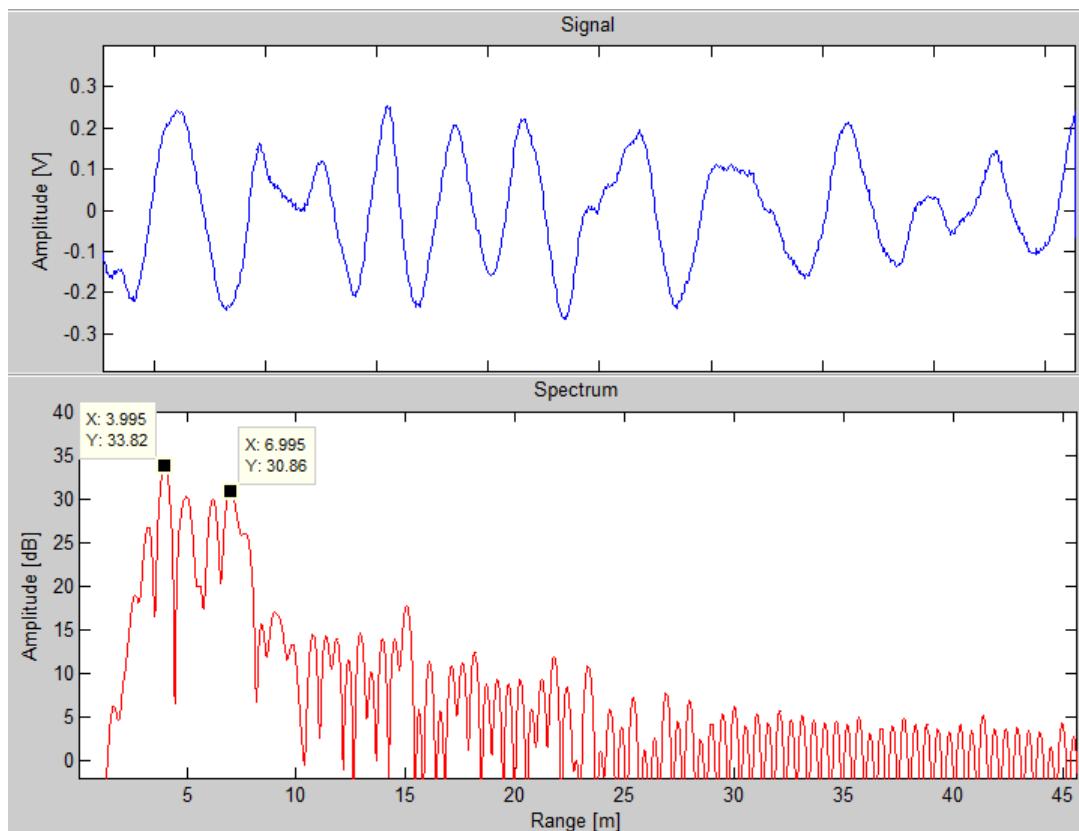
Hình 5.25: Vật thể đặt tại khoảng cách 4m khi sử dụng bộ lọc ($f_c = 200Hz$)



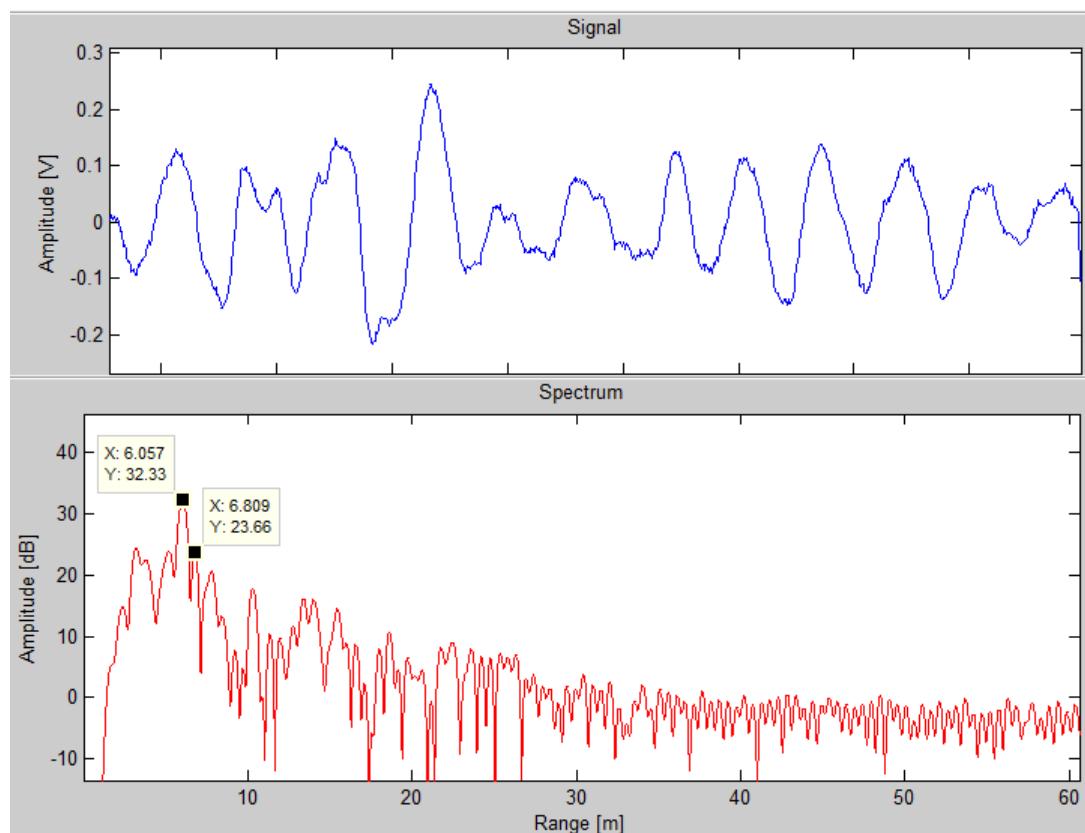
Hình 5.26: Vật thể đặt tại khoảng cách 6m khi sử dụng bộ lọc ($f_c = 200Hz$)



Hình 5.27: Bộ lọc FIR thiết kế trên công cụ FDA toolbox của Matlab ($f_c = 350Hz$)



Hình 5.28: Vật thể đặt tại khoảng cách 4m khi sử dụng bộ lọc ($f_c = 350Hz$)

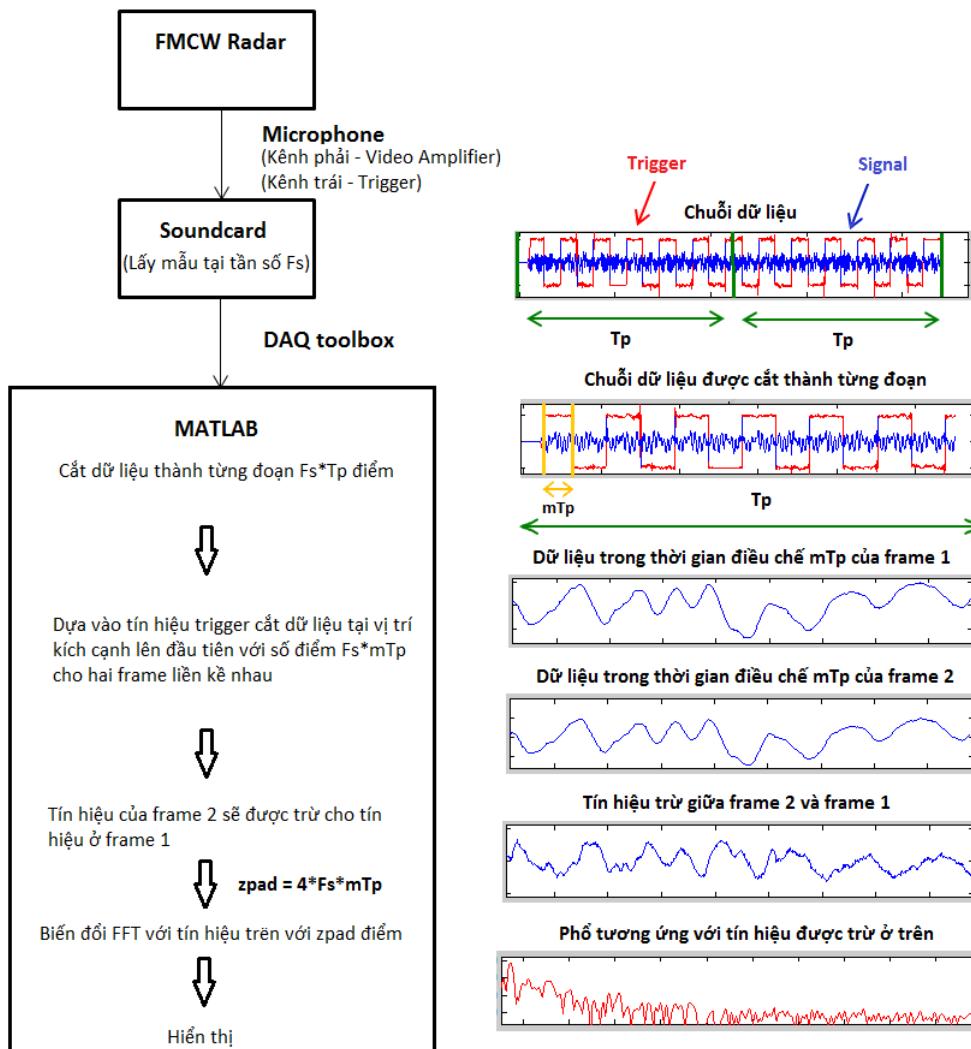
Hình 5.29: Vật thể đặt tại khoảng cách 6m khi sử dụng bộ lọc ($f_c = 30Hz$)

Khoảng cách [m]	Kết quả đo khi không sử dụng bộ lọc [m]	Sai số [%]	Kết quả đo khi sử dụng bộ lọc [m]	Sai số [%]
2	2.098	4.90	2.098	4.90
2.5	2.541	1.64	2.562	2.48
3	3.016	0.53	2.995	0.167
3.5	3.438	1.77	3.51	0.29
4	3.974	0.65	3.974	0.65
4.5	4.428	1.60	4.438	1.37
5	4.871	2.58	4.851	2.98
5.5	5.407	1.69	5.345	2.81
6	6.026	0.43	6.047	0.78

Bảng 5.5: Tổng hợp số liệu kết quả đo ở các khoảng cách khác nhau

5.2.3.2 Giải thuật CCD - Coherent Change Detection - loại bỏ tín hiệu tĩnh

Sơ đồ xử lý dữ liệu với giải thuật CCD được minh họa ở hình 5.30.

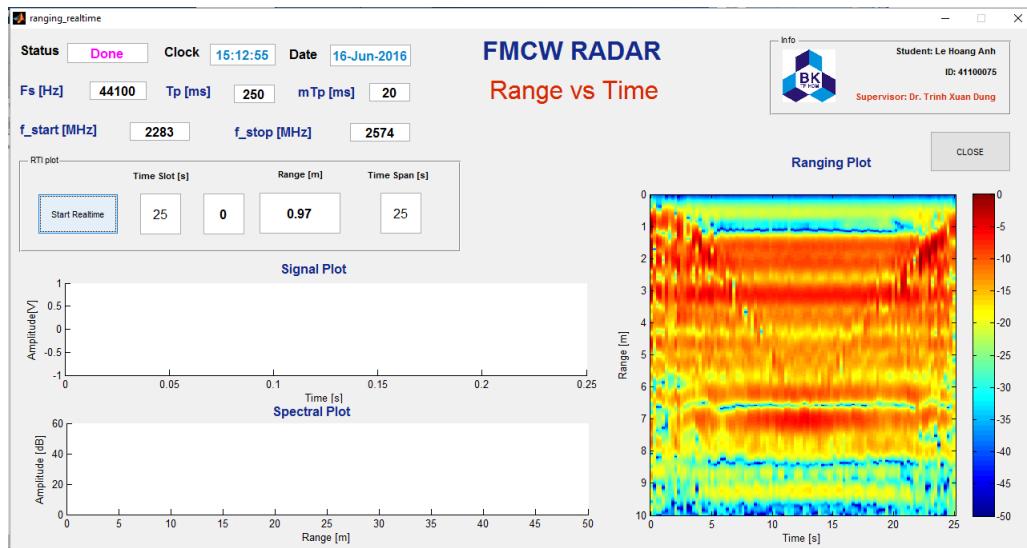


Hình 5.30: Sơ đồ xử lý dữ liệu với giải thuật Coherent Change Detection

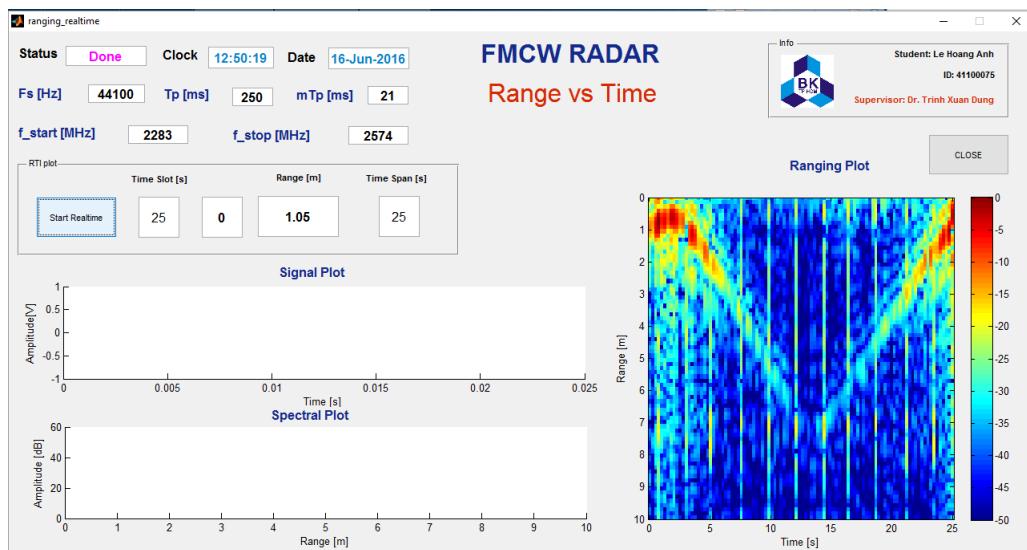
Khác với giải thuật được minh họa ở hình 5.13, giải thuật CCD không biến đổi FFT trực tiếp cho đoạn dữ liệu kích thước $F_s \cdot mTp$, thay vào đó, đoạn dữ liệu với kích thước $F_s \cdot mTp$ sẽ được trừ cho đoạn dữ liệu tương tự ở *frame* trước đó, sau đó đoạn dữ liệu đã được trừ cho nhau sẽ được biến đổi FFT với $zpad = 4 \cdot F_s \cdot mTp$ điểm, từ đó tạo ra dạng phổ tương ứng với khoảng cách thay đổi của các vật thể chuyển động. Lý giải cho điều này, ta thấy rằng tín hiệu nhận trong phép đo khoảng cách là một tín hiệu chồng chập của tín hiệu phản xạ từ vật thể đó và cả các tín hiệu từ các vật thể tĩnh xung quanh (coupling (anten), clutter (nhiễu nền)). Do vậy, bằng phép trừ tín hiệu giữa *frame* hiện tại của tín hiệu cho *frame* trước đó của tín hiệu, ta sẽ loại bỏ được tín hiệu từ các vật thể tĩnh xung quanh (do các vật thể không thay đổi

khoảng cách theo thời gian). Từ đó, ta có được tín hiệu rõ ràng hơn về khoảng cách của vật thể.

Thử nghiệm khi cho một vật thể (người) chuyển động lại gần và ra xa so với Radar và kết quả được minh họa ở hình 5.31 và 5.32.



Hình 5.31: Hình ảnh thu nhận từ vật thể chuyển động khi chưa sử dụng giải thuật CCD



Hình 5.32: Hình ảnh thu nhận từ vật thể chuyển động khi sử dụng giải thuật CCD

Như vậy, ta thấy rằng giải thuật CCD sẽ cho ta kết quả rõ ràng hơn về việc xác định khoảng cách của các vật thể chuyển động.

5.3 Kết luận chương

Từ những phân tích về phương trình toán và phương pháp xử lý dữ liệu ở chương 3 kết hợp với các dữ liệu đo kiểm ở chương 4 cho một hệ thống radar hoàn chỉnh, giải thuật xử lý dữ liệu

trên MATLAB được hình thành với những bước thử nghiệm thực tế, từ đó đưa ra những phân tích và đánh giá cho một hệ thống radar hoàn chỉnh bao gồm cả phần cứng lẫn phần mềm. Tuy vậy, hình thức và phương pháp thử nghiệm trên thực tế vẫn còn nhiều thiếu sót và hạn chế nhất định. Do thời gian của luận án có hạn nên luận án này xin được dừng lại ở đây với những phân tích và đánh giá vừa được trình bày. Trong phần cuối cùng (Chương 6), toàn bộ quá trình thực hiện luận án sẽ được bàn luận với những đúc kết về những điều đã đạt được và chưa đạt được trong luận án này đồng thời cũng đưa ra những hướng phát triển tiếp theo về đề tài này cho những người kế thừa luận án này.

Chương 6

Kết luận và hướng phát triển

6.1 Những đóng góp của luận án

Luận án đã xây dựng thành công toàn bộ hệ thống CW Radar và FMCW Radar kết hợp với nhau bao gồm cả các khối thu phát tín hiệu (phần cứng) và giải thuật xử lý dữ liệu thời gian thực (phần mềm) với khả năng xác định vận tốc của vật thể chuyển động cũng như khoảng cách của các vật thể chuyển động và không chuyển động. Trong đó, người thực hiện luận án này đã thiết kế hệ thống anten thu phát (Cantennas), khối điều chế tín hiệu (Modulator), khối lọc và khuếch đại tín hiệu dãy nền (Video Amplifier) kết hợp với các *module* cao tần (RF) hiện có trên thị trường (nhà cung cấp Mini-Circuits), từ đó xây dựng toàn bộ hệ thống Radar hoàn chỉnh có thể chuyển đổi giữa hai chế độ làm việc: CW Radar và FMCW Radar. Ngoài ra, giải thuật xử lý dữ liệu trên MATLAB được thiết kế để xác định vận tốc và khoảng cách thời gian thực không chỉ của một vật thể mà còn là nhiều vật thể trong cùng một khoảng thời gian thông qua phép biến đổi Fourier rời rạc (DFT). Với các kết quả đo kiểm và thử nghiệm trên thực tế, luận án đã cho thấy tính khả thi và ứng dụng của một hệ thống Radar tầm ngắn với chi phí xây dựng thấp (dưới 5 triệu đồng) và mức sai số trong khoảng có thể chấp nhận được. Tuy nhiên, trong quá trình thực hiện luận án, người thiết kế đã gặp phải rất nhiều khó khăn trong việc xây dựng phần cứng cũng như đo kiểm và thử nghiệm các kết quả trên thực tế đồng thời với thời gian hữu hạn, luận án chỉ dừng lại ở việc xác định vận tốc và khoảng cách thời gian thực của các vật thể. Do vậy, cần có những cải tiến hơn nữa về phần cứng cũng như giải thuật phần mềm nhằm tăng khả năng cũng như tính chính xác của hệ thống radar được thiết kế.

6.2 Hướng phát triển

Như đã đề cập ở trên, luận án vẫn còn tồn tại những khuyết điểm cần khắc phục nhằm nâng cao chất lượng của hệ thống radar. Một số cải tiến cần được thực hiện đối với hệ thống radar đề cập ở trên đó là:

- Thiết kế hệ thống anten thu, phát với độ định hướng và băng thông hoạt động cao hơn (anten parabol, anten vi dải, mảng anten,...). Ngoài ra có thể kết hợp anten với bộ *Duplexer* nhằm sử dụng một anten cho cả việc thu và phát tín hiệu, qua đó tránh được hiện tượng *coupling* của việc sử dụng hai anten thu và phát riêng biệt.

- Kết hợp hệ thống radar với việc sử dụng vi xử lý để thu nhận, xử lý dữ liệu và hiển thị kết quả nhằm nâng cao tính độc lập của hệ thống, tránh sự phụ thuộc vào laptop gây cồng kềnh và bất tiện.
- Cải tiến hệ thống với khả năng thực hiện các chức năng khác của radar như: tái tạo hình ảnh của vật chấn của radar (SAR radar), nhận dạng vật thể sau một vật chấn (through wall radar) hoặc kết hợp việc đo vận tốc và khoảng cách một cách đồng thời (FMCW radar).

Với những hướng phát triển cho hệ thống radar vừa đề cập, hy vọng sẽ tạo ra ý tưởng cũng như cảm hứng cho những người kế thừa luận án này.

Tài liệu tham khảo

- [1] B. Hatheway, *The Doppler Effect*. Windows To The Universe, 2010. [4](#)
- [2] M. Christiano, *Maxwell's Equations in Present Form*. All Abour Circuits, 2016. [4](#)
- [3] R. M. Cormmach, *Heinrich Rudolf Hertz*. encyclopedia.com, 2008. [4](#)
- [4] D. Mitchell, *Incredible Inventions of Nikola Tesla*. World - Mysteries, 2007. [4](#)
- [5] M. Hollmann, *Christian Huelsmeyer, the inventor*. Radar World, 2007. [4](#)
- [6] N. Lectures, *Guglielmo Marconi - Biographical*. Nobelprize.org, 1967. [4](#)
- [7] D. Parry, *NRL History - November 1930*. United States Naval Research Laboratory, 2010. [4](#)
- [8] A. Lee, *Robert Watson-Watt: The inventor who helped win the Battle of Britain*. www.express.co.uk, 2014. [4](#)
- [9] G. Pelosi, *The Cavity Magnetron:Not Just a British Invention*. IEEE Explore, 2013. [5](#)
- [10] C. A. Balanis, *Antenna Theory Analysi And Design*. Wiley and Sons, Inc, 2005. [7](#), [8](#), [15](#), [16](#)
- [11] P. Alan J. Fenn, *Antenna Design for the Laptop Radar Project*. MIT Lincoln Laboratory, 2011. [8](#), [51](#), [52](#), [63](#)
- [12] G. L. Charvat, *Small and short range radar systems*. Taylor and Francis Group, LLC, 2014. [9](#), [15](#), [18](#), [20](#), [31](#), [33](#), [36](#), [40](#), [47](#)
- [13] C. Nickolas, *The Basics of Mixers*. Electronic Products, 2011. [11](#)
- [14] R. Minihold and D. Bues, *Introduction to Radar System and Component Tests*. Rohde and Schwarz, 2012. [17](#), [23](#), [24](#)
- [15] B. R. Mahafza, *Radar Systems Analysis and Design Using MATLAB*. CHAPMAN and HALL, 2000. [22](#)

- [16] P. Gregory L. Charvat, *MIT IAP 2011 Laptop Based Radar: Block Diagram, Schematics, Bill of Material, and Fabrication Instructions*. MIT Lincoln Laboratory, 2011. [26](#), [55](#), [61](#), [63](#)
- [17] W. Wiesbeck, *Radar Systems Engineering*. Karlsruhe Institute of Technology, 2009 - 2010. [40](#)