

ĐẠI HỌC QUỐC GIA TP. HỒ CHÍ MINH
TRƯỜNG ĐẠI HỌC BÁCH KHOA
KHOA ĐIỆN – ĐIỆN TỬ
BỘ MÔN VIỄN THÔNG

----- ☰ ☱ -----



ĐỒ ÁN MÔN HỌC 2

**Dề tài: Ứng dụng hạn chế can nhiễu trong hệ thống
truyền thông không dây sử dụng giải thuật LCMV &
GSC**

**Interference Cancellation in Communication System
using LCMV & GSC algorithms**

Giảng viên hướng dẫn: **PGS. TS Đỗ Hồng Tuấn**

Sinh viên thực hiện: Lê Đức Minh Nhật
MSSV: 2013994

TP. Hồ Chí Minh, tháng 12 năm 2023

MỤC LỤC

MỤC LỤC	2
DANH MỤC HÌNH ẢNH	4
MỞ ĐẦU.....	7
CHƯƠNG I: CƠ SỞ LÝ THUYẾT VỀ “BỘ LỌC TỐI THIỂU PHƯƠNG SAI CÓ RÀNG BUỘC TUYẾN TÍNH” VÀ “BỘ TRIỆT CÁC BÚP BÊN TỔNG QUÁT”.....	8
I.1. Bài toán thực tế:	8
I.2. Cơ sở lý thuyết về các giải thuật được đưa ra:	9
I.2.1. Bộ lọc tối thiểu phương sai có ràng buộc tuyến tính (Linearly Constrained Minimum-Variance Filter):	10
I.2.2. Bộ triệt các búp bên tổng quát (Generalized Sidelobes Cancellers):	14
CHƯƠNG II: MÔ PHỎNG GIẢI THUẬT TRÊN MATLAB.....	19
II.1. Tối thiểu phương sai có ràng buộc tuyến tính (LCMV):.....	19
II.1.1. Lời giải để mô phỏng giải thuật:	19
II.1.2. Thực hiện mô phỏng trên MATLAB:	20
II.2. Bộ triệt các búp bên tổng quát (GSC):	25
II.2.1. Lời giải để mô phỏng giải thuật:	25
II.2.2. Thực hiện mô phỏng trên MATLAB:	25
II.3. Nhận xét chung về hai giải thuật:	30
CHƯƠNG III: KẾT QUẢ TỔNG QUÁT CỦA HAI GIẢI THUẬT	31
III.1. Tối thiểu phương sai có ràng buộc tuyến tính (LCMV):	31
III.1.1. Thay đổi số phần tử an-ten M:	31
III.1.2. Giảm khoảng cách góc giữa các tín hiệu mong muốn và can nhiễu:	38
III.1.3. Thay đổi phương sai nhiễu (noise variance):	46
III.2. Bộ triệt các búp bên tổng quát (GSC):	51
III.2.1. Thay đổi số phần tử an-ten M:	51
III.2.2. Giảm khoảng cách góc giữa các tín hiệu mong muốn và can nhiễu:	59
III.2.3. Thay đổi phương sai nhiễu (noise variance):	67
III.3. Tổng quát về hai giải thuật:.....	72
KẾT LUẬN	76
TÀI LIỆU THAM KHẢO.....	77

PHỤ LỤC 78

DANH MỤC HÌNH ẢNH

Hình 1. Sơ đồ khói biểu diễn bài toán lọc thống kê.....	9
Hình 2. Bộ lọc FIR.....	11
Hình 3. Sóng tới dãy an-ten tuyển tính M phần tử.....	11
Hình 4. Sơ đồ khói của bộ triết các búp bên tổng quát GSC.....	16
Hình 5. Đưa bài toán GSC về bài toán bộ lọc tối ưu tiêu chuẩn.....	16
Hình 6. Tín hiệu gốc cần xử lý.....	20
Hình 7. Tín hiệu trộn tại ngõ vào của bộ lọc.....	21
Hình 8. Tín hiệu sau khi qua xử lý.....	21
Hình 9. Trọng số tối ưu của giải thuật.....	22
Hình 10. Đồ thị tuyển tính của giải thuật LCMV.....	23
Hình 11. Đồ thị so sánh tín hiệu trộn tại ngõ vào, tín hiệu mong muốn và tín hiệu sau khi xử lý tại ngõ ra.....	24
Hình 12. RMSE của giải thuật LCMV.....	24
Hình 13. Tín hiệu gốc muốn thu.....	25
Hình 14. Tín hiệu trộn tại ngõ vào bộ lọc.....	26
Hình 15. Tín hiệu sau khi xử lý tại ngõ ra.....	26
Hình 16. Trọng số tối ưu của giải thuật.....	27
Hình 17. Đồ thị tuyển tính của giải thuật GSC.....	28
Hình 18. Đồ thị so sánh tín hiệu trộn tại ngõ vào, tín hiệu mong muốn và tín hiệu sau khi xử lý tại ngõ ra.....	29
Hình 19. RMSE của giải thuật.....	29
Hình 20. Đồ thị tuyển tính của giải thuật với $M = 10$	31
Hình 21. Đồ thị so sánh tín hiệu trộn tại ngõ vào, tín hiệu mong muốn và tín hiệu sau khi xử lý tại ngõ ra với $M = 10$	32
Hình 22. Đồ thị tuyển tính của giải thuật LCMV với $M = 15$	32
Hình 23. Đồ thị so sánh tín hiệu trộn tại ngõ vào, tín hiệu mong muốn và tín hiệu sau khi xử lý tại ngõ ra với $M = 15$	33
Hình 24. Đồ thị tuyển tính của giải thuật LCMV với $M = 17$	34
Hình 25. Đồ thị so sánh tín hiệu trộn tại ngõ vào, tín hiệu mong muốn và tín hiệu sau khi xử lý tại ngõ ra với $M = 17$	34
Hình 26. Đồ thị tuyển tính của giải thuật với $M = 18$	35
Hình 27. Đồ thị so sánh tín hiệu trộn tại ngõ vào, tín hiệu mong muốn và tín hiệu sau khi xử lý tại ngõ ra với $M = 18$	35
Hình 28. Đồ thị tuyển tính của giải thuật với $M = 20$	36
Hình 29. Đồ thị so sánh tín hiệu trộn tại ngõ vào, tín hiệu mong muốn và tín hiệu sau khi xử lý tại ngõ ra với $M = 20$	36
Hình 30. RMSE giữa tín hiệu gốc và tín hiệu sau khi xử lý theo sự thay đổi M	37
Hình 31. RMSE giữa tín hiệu sau khi xử lý và tín hiệu trộn tại ngõ vào theo sự thay đổi M	38
Hình 32. Đồ thị tuyển tính của $[\varphi_0, \varphi_1, \varphi_2] = [-60^\circ, -30^\circ, 0^\circ]$	39
Hình 33. Đồ thị so sánh tín hiệu trộn tại ngõ vào, tín hiệu mong muốn và tín hiệu sau khi xử lý tại ngõ ra với $[\varphi_0, \varphi_1, \varphi_2] = [-60^\circ, -30^\circ, 0^\circ]$	39
Hình 34. Đồ thị tuyển tính của $[\varphi_0, \varphi_1, \varphi_2] = [-60^\circ, -35^\circ, -10^\circ]$	40
Hình 35. Đồ thị so sánh tín hiệu trộn tại ngõ vào, tín hiệu mong muốn và tín hiệu sau khi xử lý tại ngõ ra với $[\varphi_0, \varphi_1, \varphi_2] = [-60^\circ, -35^\circ, -10^\circ]$	41
Hình 36. Đồ thị tuyển tính của $[\varphi_0, \varphi_1, \varphi_2] = [-60^\circ, -40^\circ, -20^\circ]$	41
Hình 37. Đồ thị so sánh tín hiệu trộn tại ngõ vào, tín hiệu mong muốn và tín hiệu sau khi xử lý tại ngõ ra với $[\varphi_0, \varphi_1, \varphi_2] = [-60^\circ, -40^\circ, -20^\circ]$	42
Hình 38. Đồ thị tuyển tính của $[\varphi_0, \varphi_1, \varphi_2] = [-60^\circ, -45^\circ, -30^\circ]$	42

Hình 39. Đồ thị so sánh tín hiệu trộn tại ngõ vào, tín hiệu mong muốn và tín hiệu sau khi xử lý tại ngõ ra với $[\varphi_0, \varphi_1, \varphi_2] = [-60^\circ, -45^\circ, -30^\circ]$.	43
Hình 40. Đồ thị tuyến tính của $[\varphi_0, \varphi_1, \varphi_2] = [-60^\circ, -50^\circ, -40^\circ]$.	43
Hình 41. Đồ thị so sánh tín hiệu trộn tại ngõ vào, tín hiệu mong muốn và tín hiệu sau khi xử lý tại ngõ ra với $[\varphi_0, \varphi_1, \varphi_2] = [-60^\circ, -50^\circ, -40^\circ]$.	44
Hình 42. RMSE giữa tín hiệu gốc và tín hiệu sau khi xử lý theo sự thay đổi khoảng cách góc.	45
Hình 43. RMSE giữa tín hiệu sau khi xử lý và tín hiệu trộn tại ngõ vào theo sự thay đổi khoảng cách góc.	46
Hình 44. Đồ thị tuyến tính của giải thuật với $nv = 0.01$.	46
Hình 45. Đồ thị so sánh tín hiệu trộn tại ngõ vào, tín hiệu mong muốn và tín hiệu sau khi xử lý tại ngõ ra với $nv = 0.01$.	47
Hình 46. Đồ thị tuyến tính của giải thuật với $nv = 0.1$.	48
Hình 47. Đồ thị so sánh tín hiệu trộn tại ngõ vào, tín hiệu mong muốn và tín hiệu sau khi xử lý tại ngõ ra với $nv = 0.1$.	48
Hình 48. Đồ thị tuyến tính của giải thuật với $nv = 1$.	49
Hình 49. Đồ thị so sánh tín hiệu trộn tại ngõ vào, tín hiệu mong muốn và tín hiệu sau khi xử lý tại ngõ ra với $nv = 1$.	49
Hình 50. RMSE giữa tín hiệu gốc và tín hiệu sau khi xử lý theo sự thay đổi phuong sai nhiều.	50
Hình 51. RMSE giữa tín hiệu sau khi xử lý và tín hiệu trộn tại ngõ vào bộ lọc theo sự thay đổi phuong sai nhiều.	51
Hình 52. Đồ thị tuyến tính của giải thuật với $M = 10$.	52
Hình 53. Đồ thị so sánh tín hiệu trộn tại ngõ vào, tín hiệu mong muốn và tín hiệu sau khi xử lý tại ngõ ra với $M = 10$.	52
Hình 54. Đồ thị tuyến tính của giải thuật với $M = 15$.	53
Hình 55. Đồ thị so sánh tín hiệu trộn tại ngõ vào, tín hiệu mong muốn và tín hiệu sau khi xử lý tại ngõ ra với $M = 15$.	54
Hình 56. Đồ thị tuyến tính của giải thuật với $M = 17$.	55
Hình 57. Đồ thị so sánh tín hiệu trộn tại ngõ vào, tín hiệu mong muốn và tín hiệu sau khi xử lý tại ngõ ra với $M = 17$.	55
Hình 58. Đồ thị tuyến tính của giải thuật với $M = 18$.	56
Hình 59. Đồ thị so sánh tín hiệu trộn tại ngõ vào, tín hiệu mong muốn và tín hiệu sau khi xử lý tại ngõ ra với $M = 18$.	56
Hình 60. Đồ thị tuyến tính của giải thuật với $M = 20$.	57
Hình 61. Đồ thị so sánh tín hiệu trộn tại ngõ vào, tín hiệu mong muốn và tín hiệu sau khi xử lý tại ngõ ra với $M = 20$.	57
Hình 62. RMSE giữa tín hiệu gốc và tín hiệu sau khi xử lý theo sự thay đổi số phần tử an-ten M .	58
Hình 63. RMSE giữa tín hiệu sau khi xử lý và tín hiệu trộn tại ngõ vào bộ lọc theo sự thay đổi số phần tử an-ten M .	59
Hình 64. Đồ thị tuyến tính của giải thuật với $[\varphi_0, \varphi_1, \varphi_2] = [-60^\circ, -30^\circ, 0^\circ]$.	60
Hình 65. Đồ thị so sánh tín hiệu trộn tại ngõ vào, tín hiệu mong muốn và tín hiệu sau khi xử lý tại ngõ ra với $[\varphi_0, \varphi_1, \varphi_2] = [-60^\circ, -30^\circ, 0^\circ]$.	60
Hình 66. Đồ thị tuyến tính của giải thuật với $[\varphi_0, \varphi_1, \varphi_2] = [-60^\circ, -35^\circ, -10^\circ]$.	61
Hình 67. Đồ thị so sánh tín hiệu trộn tại ngõ vào, tín hiệu mong muốn và tín hiệu sau khi xử lý tại ngõ ra với $[\varphi_0, \varphi_1, \varphi_2] = [-60^\circ, -35^\circ, -10^\circ]$.	62
Hình 68. Đồ thị tuyến tính của giải thuật với $[\varphi_0, \varphi_1, \varphi_2] = [-60^\circ, -40^\circ, -20^\circ]$.	62
Hình 69. Đồ thị so sánh tín hiệu trộn tại ngõ vào, tín hiệu mong muốn và tín hiệu sau khi xử lý tại ngõ ra với $\varphi_0, \varphi_1, \varphi_2 = [-60^\circ, -40^\circ, -20^\circ]$.	63
Hình 70. Đồ thị tuyến tính của giải thuật với $[\varphi_0, \varphi_1, \varphi_2] = [-60^\circ, -45^\circ, -30^\circ]$.	64
Hình 71. Đồ thị so sánh tín hiệu trộn tại ngõ vào, tín hiệu mong muốn và tín hiệu sau khi xử lý tại ngõ ra với $[\varphi_0, \varphi_1, \varphi_2] = [-60^\circ, -45^\circ, -30^\circ]$.	64

Hình 72. Đồ thị tuyến tính của giải thuật với $[\varphi_0, \varphi_1, \varphi_2] = [-60^\circ, -50^\circ, -40^\circ]$	65
Hình 73. Đồ thị so sánh tín hiệu trộn tại ngõ vào, tín hiệu mong muốn và tín hiệu sau khi xử lý tại ngõ ra với $[\varphi_0, \varphi_1, \varphi_2] = [-60^\circ, -50^\circ, -40^\circ]$	65
Hình 74. RMSE giữa tín hiệu gốc và tín hiệu sau khi xử lý theo sự thay đổi khoảng cách góc giữa các tín hiệu.	66
Hình 75. RMSE giữa tín hiệu sau khi xử lý và tín hiệu trộn tại ngõ vào bộ lọc theo sự thay đổi khoảng cách góc giữa các tín hiệu.	67
Hình 76. Đồ thị tuyến tính của giải thuật với $nv = 0.01$	68
Hình 77. Đồ thị so sánh tín hiệu trộn tại ngõ vào, tín hiệu mong muốn và tín hiệu sau khi xử lý tại ngõ ra với $nv = 0.01$	68
Hình 78. Đồ thị tuyến tính của giải thuật với $nv = 0.1$	69
Hình 79. Đồ thị so sánh tín hiệu trộn tại ngõ vào, tín hiệu mong muốn và tín hiệu sau khi xử lý tại ngõ ra với $nv = 0.1$	69
Hình 80. Đồ thị tuyến tính của giải thuật với $nv = 1$	70
Hình 81. Đồ thị so sánh tín hiệu trộn tại ngõ vào, tín hiệu mong muốn và tín hiệu sau khi xử lý tại ngõ ra với $nv = 1$	70
Hình 82. RMSE giữa tín hiệu gốc và tín hiệu trộn sau khi xử lý theo sự thay đổi phương sai nhiều..	71
Hình 83. RMSE giữa tín hiệu sau khi xử lý và tín hiệu trộn tại ngõ vào bộ lọc theo sự thay đổi phương sai nhiều.....	72
Hình 84. RMSE giữa tín hiệu gốc và tín hiệu sau khi xử lý của GSC và LCMV theo sự thay đổi số phần tử M.....	73
Hình 85. RMSE giữa tín hiệu gốc và tín hiệu sau khi xử lý của GSC và LCMV theo sự thay đổi phương sai nhiều.....	74
Hình 86. RMSE giữa tín hiệu gốc và tín hiệu sau khi xử lý của GSC và LCMV theo sự thay đổi khoảng cách góc giữa các tín hiệu ngõ vào.....	74

MỞ ĐẦU

Hiện nay, thế giới đã phát triển đến mạng 5G, thế hệ thứ năm của công nghệ di động không dây, cung cấp tốc độ tải lên và tải xuống nhanh hơn, kết nối ổn định hơn và dung lượng được cải thiện so với các mạng trước đây. Sự phát triển của hệ thống truyền thông đi kèm với các yêu cầu về chất lượng tín hiệu ngày một cải thiện. Do đó, vấn đề triệt tiêu các can nhiễu, tối ưu tín hiệu từ hướng tới mong muốn luôn là một trong những ưu tiên cho mọi thế hệ mạng. Kể từ khi tín hiệu được kỹ thuật số hóa, việc xử lý tín hiệu dựa trên thuật toán ngày càng phổ biến và rộng rãi, rất nhiều giải thuật được đưa ra nhằm đáp ứng các yêu cầu về mặt kỹ thuật cũng như yếu tố môi trường. Tuy nhiên vẫn rất khó để tìm ra các giải thuật tối ưu mang tính tổng quát cho mọi trường hợp.

Nhận thấy tính cấp thiết của vấn đề này, dưới sự hướng dẫn của GVHD, em đã lựa chọn nghiên cứu đề tài « *Ứng dụng hạn chế can nhiễu trong hệ thống truyền thông không dây sử dụng giải thuật LCMV & GSC* », được chia thành 3 chương như sau :

Chương 1: Cơ sở lý thuyết về “Bộ lọc tối thiểu phương sai có ràng buộc tuyến tính” và “Bộ triệt các búp bên tổng quát”.

Chương 2: Mô phỏng giải thuật trên MATLAB.

Chương 3: Kết quả tổng quát của hai giải thuật.

Lý thuyết và các phương trình toán học trong đồ án đều được tham khảo từ sách “*Adaptive Filter Theory*” – Simon Haykin.

CHƯƠNG I: CƠ SỞ LÝ THUYẾT VỀ “BỘ LỌC TỐI THIỂU PHƯƠNG SAI CÓ RÀNG BUỘC TUYẾN TÍNH” VÀ “BỘ TRIỆT CÁC BÚP BÊN TỔNG QUÁT”

I.1. Bài toán thực tế:

“Interference cancellation” (triệt can nhiễu) là một kỹ thuật trong hệ thống truyền thông không dây nhằm giảm thiểu hiệu ứng của can nhiễu và cải thiện chất lượng tín hiệu. Trong hệ thống truyền thông không dây, can nhiễu có thể xuất phát từ nhiều nguồn, bao gồm các thiết bị không dây khác hoạt động trong cùng một khu vực và các tín hiệu phản xạ từ môi trường. “Interference cancellation” là một phương pháp xử lý tín hiệu tại bộ thu để loại bỏ hoặc giảm thiểu tác động của can nhiễu. Kỹ thuật này có thể sử dụng một số phương pháp khác nhau, tùy thuộc vào bối cảnh ứng dụng cụ thể cũng như các yêu cầu về mặt kỹ thuật.

Có rất nhiều phương pháp được sử dụng để thực hiện “Interference cancellation” như sử dụng các an-ten đa điểm (MIMO) và kỹ thuật xử lý tín hiệu đa đường (multi-path). Bằng cách sử dụng nhiều an-ten và khai thác tính chất truyền dẫn đa đường, hệ thống có thể phân tách và loại bỏ can nhiễu từ các nguồn khác nhau trong môi trường. Ngoài ra, các phương pháp kết hợp như kỹ thuật mã hóa thông tin (coding) và kỹ thuật đa truy cập (multiple access) cũng có thể được sử dụng để giảm thiểu can nhiễu và tăng cường khả năng chống can nhiễu của hệ thống.

Một trong những phương pháp phổ biến để thực hiện “Interference cancellation” là sử dụng kỹ thuật xử lý tín hiệu số (DSP). Kỹ thuật này sử dụng thông tin về can nhiễu và tín hiệu mong muốn để xác định và loại bỏ can nhiễu từ tín hiệu thu. Các thuật toán xử lý tín hiệu phức tạp có thể được sử dụng để ước lượng và loại bỏ can nhiễu từ tín hiệu thu, đồng thời giữ lại tín hiệu mong muốn.

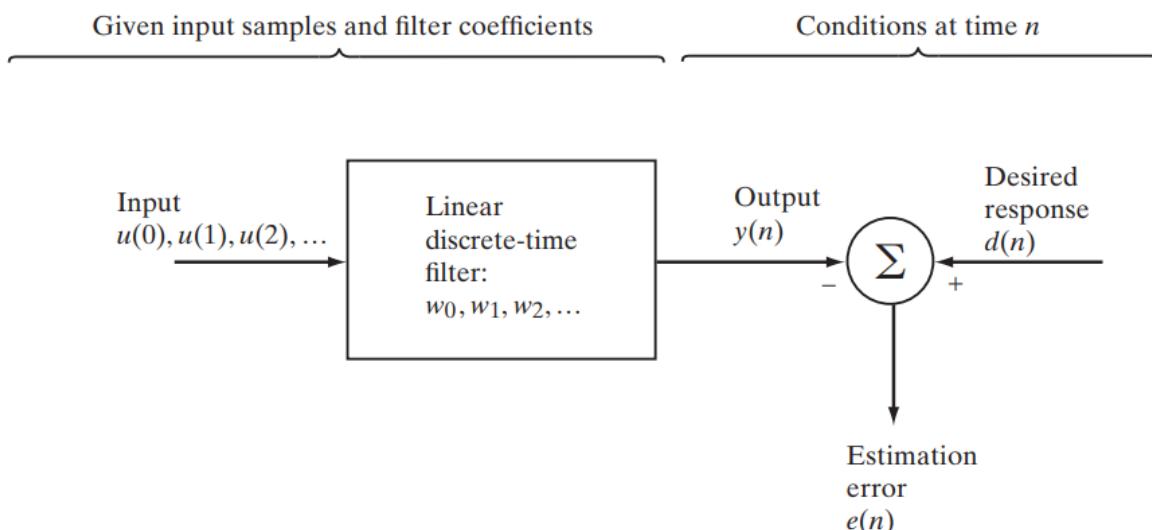
Bài toán về các “bộ lọc thích nghi” là một phần quan trọng của việc xử lý tín hiệu số. Sử dụng “bộ lọc thích nghi” trong môi trường có số liệu thống kê không xác định hoặc môi trường không cố định mang lại giải pháp tối ưu với việc cải thiện đáng kể về hiệu suất so với sử dụng bộ lọc cố định được thiết kế truyền thống. Không những vậy, các bộ lọc thích nghi cung cấp khả năng xử lý tín hiệu mới mà các phương pháp khác không thể thực hiện được. Do đó, các bộ lọc thích nghi đã mang lại nhiều thành công trong các lĩnh vực đa dạng như thông tin liên lạc, điều khiển, radar, sóng siêu âm, địa chấn và kỹ thuật y sinh, cùng nhiều lĩnh vực khác.

Mục tiêu đặt ra là phát triển các giải thuật khác nhau của “bộ lọc thích nghi tuyến tính”. Sự thích nghi được thực hiện bằng cách điều chỉnh các tham số (hệ số) tự do của bộ lọc phù hợp với dữ liệu ngõ vào, qua đó triệt các ảnh hưởng của can nhiễu và chỉ xuất hiện tín hiệu mong muốn tại ngõ ra của bộ lọc.

Đồ án thực hiện nghiên cứu giải thuật ứng dụng cho bộ lọc tối ưu tuyến tính với thời gian rời rạc, hay còn gọi là bộ lọc Wiener. Lý thuyết bộ lọc Wiener được xây dựng cho trường hợp tổng quát của quá trình ngẫu nhiên có giá trị phức với bộ lọc được xác định

theo đáp ứng xung của nó. Lý do sử dụng chuỗi thời gian có giá trị phức là trong nhiều tình huống thực tế (ví dụ: thông tin liên lạc, radar, sóng siêu âm, ...), các dữ liệu quan sát được đo ở dạng băng cơ sở (dải tần đại diện cho tín hiệu gốc do nguồn thông tin cung cấp), còn trường hợp chuỗi thời gian có giá trị thực có thể được coi là trường hợp đặc biệt của lý thuyết này. Tuy nhiên, với trọng tâm là nghiên cứu hai giải thuật chính, đồ án sẽ công nhận và sử dụng các kết quả có được từ bộ lọc Wiener.

Xét sơ đồ khối của Hình 1 minh họa bộ lọc tuyến tính với thời gian rời rạc. Ngõ vào của bộ lọc gồm chuỗi thời gian $u(0), u(1), u(2), \dots$ và bộ lọc đặc trưng bởi đáp ứng xung được biểu thị bằng chuỗi w_0, w_1, w_2, \dots . Ngõ ra của bộ lọc tại thời điểm rời rạc n là $y(n)$, được sử dụng để cung cấp ước tính về đáp ứng tín hiệu mong muốn $d(n)$. Với ngõ vào bộ lọc và đáp ứng mong muốn tại từng thời điểm rời rạc của các quá trình ngẫu nhiên tương ứng, việc ước tính thường đi kèm với sai số có các đặc tính thống kê riêng của nó. Mục tiêu đặt ra là tối thiểu lỗi ước tính $e(n)$, được định nghĩa là sự khác biệt giữa đáp ứng tín hiệu mong muốn $d(n)$ và ngõ ra bộ lọc $y(n)$. Ngoài ra, để thuận tiện cho quá trình nghiên cứu, giả sử bộ lọc tối ưu tuyến tính là bộ lọc FIR với đặc tính ổn định cho các tính toán thích nghi được thực hiện.



Hình 1. Sơ đồ khối biểu diễn bài toán lọc thống kê.

Tóm lại, bài toán đặt ra như sau: Thiết kế bộ lọc tuyến tính với thời gian rời rạc với ngõ ra $y(n)$ có ước lượng tín hiệu mong muốn $d(n)$, với tập hợp các mẫu ngõ vào $u(0), u(1), u(2), \dots$ sao cho giá trị bình phương trung bình của lỗi ước tính $e(n)$, được định nghĩa là sự khác biệt giữa đáp ứng tín hiệu mong muốn $d(n)$ và ngõ ra thực tế $y(n)$, là tối thiểu.

Hai trong những giải thuật được đưa ra cho bài toán này chính là “Bộ lọc tối thiểu phương sai có ràng buộc tuyến tính” (Linearly Constrained Minimum-Variance Filter) và “Bộ triệt các búp bên tổng quát” (Generalized Sidelobes Cancelers).[1].

I.2. Cơ sở lý thuyết về các giải thuật được đưa ra:

I.2.1. Bộ lọc tối thiểu phuơng sai có ràng buộc tuyến tính (Linearly Constrained Minimum-Variance Filter):

Mục tiêu của bộ lọc Wiener là giảm thiểu giá trị bình phuơng trung bình của lỗi ước tính, được định nghĩa là sự khác biệt giữa đáp ứng mong muôn và ngõ ra bộ lọc thực tế. Khi giải quyết vấn đề tối ưu hóa (tối thiểu hóa) này, không có ràng buộc nào được áp đặt cho giải pháp.

Tuy nhiên, trong một số ứng dụng lọc, có thể mong muôn (hoặc thậm chí bắt buộc) thiết kế bộ lọc giảm thiểu tiêu chí bình phuơng trung bình theo một ràng buộc cụ thể. Ví dụ, yêu cầu có thể là giảm thiểu công suất đầu ra trung bình của bộ lọc tuyến tính trong khi đáp ứng của bộ lọc được đo ở một số tần số quan tâm cụ thể bị hạn chế duy trì không đổi. Trong phần này, xem xét một giải pháp như vậy cho hai trường hợp khác nhau:

Trường hợp 1: Xử lý tín hiệu trong miền thời gian.

Xét bộ lọc FIR như Hình 2 có ngõ ra là các đáp ứng cho ngõ vào $u(n)$, $u(n-1), \dots, u(n-M+1)$ được cho bởi:

$$y(n) = \sum_{k=0}^{M-1} w_k^* u(n-k) \quad (1.1)$$

Với trường hợp đặc biệt các ngõ vào là tín hiệu sin:

$$u(n) = e^{j\omega n} \quad (1.2)$$

Có thể viết lại:

$$y(n) = e^{j\omega n} \sum_{k=0}^{M-1} w_k^* e^{-j\omega k} \quad (1.3)$$

Với ω là tần số góc của tín hiệu sin, được chuẩn hóa theo tần số lấy mẫu; biểu thức tổng là đáp ứng tần số của bộ lọc.

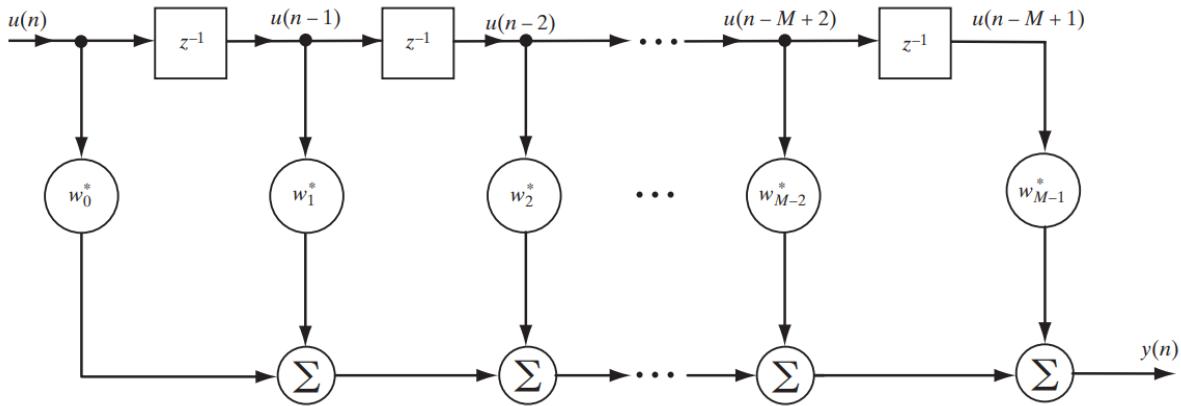
Vấn đề tối ưu hóa có ràng buộc có thể được phát biểu như sau: Tìm tập hợp các hệ số tối ưu của bộ lọc $w_{00}, w_{01}, w_{02}, \dots, w_{0M-1}$ để cực tiểu hóa giá trị bình phuơng trung bình của ngõ ra bộ lọc $y(n)$, tuân theo ràng buộc tuyến tính:

$$\sum_{k=0}^{M-1} w_k^* e^{-j\omega_0 k} = g \quad (1.4)$$

Trong đó ω_0 là giá trị cho trước của tần số góc chuẩn hóa ω , nằm trong khoảng:

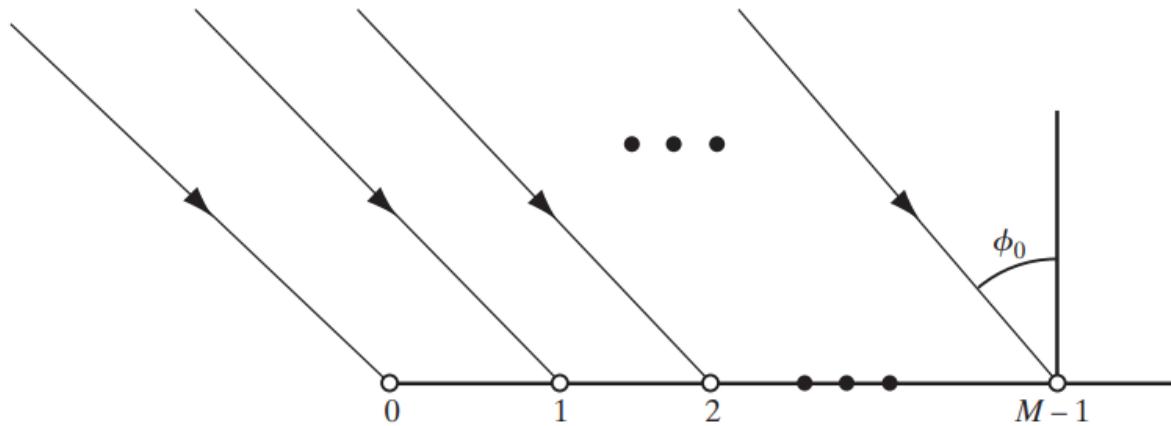
$$-\pi \leq \omega \leq \pi \quad (1.5)$$

Và g là độ lợi có giá trị phức.



Hình 2. Bộ lọc FIR.

Trường hợp 2: Xử lý tín hiệu trong miền không gian.



Hình 3. Sóng tới dãy an-ten tuyến tính M phần tử.

Vấn đề bộ lọc tối ưu hóa có ràng buộc được mô tả bởi các phương trình (1.1) và (1.4) có tính chất thời gian. Có thể xây dựng phiên bản không gian của bài toán bằng cách xem xét “bộ tạo búp sóng (beamformer)” được mô tả trong hình 3, bao gồm một dãy tuyến tính gồm các phần tử an-ten có khoảng cách đều nhau với trọng số có thể điều chỉnh được (không được hiển thị trong hình). Với một nguồn đang hướng đặt ở “trường xa (far field)” phát ra tín hiệu tới dãy, tại thời điểm n , một sóng phẳng tác động lên dãy dọc theo hướng xác định góc ϕ_0 so với phương vuông góc với mảng. Ngoài ra, giả định rằng khoảng cách giữa các phần tử của mảng nhỏ hơn $\lambda/2$, trong đó λ là bước sóng của tín hiệu truyền đi, nhằm thỏa tính chất tương tự không gian của định lý lấy mẫu. Kết quả ngõ ra của bộ tạo búp sóng được cho bởi:

$$y(n) = u_0(n) \sum_{k=0}^{M-1} w_k^* e^{-jk\theta_0} \quad (1.6)$$

Với hướng tới đặc trưng bởi góc điện θ_0 , tương quan với góc tới thực tế ϕ_0 ; được xác định như sau:

$$\theta_0 = 2\pi \frac{\Delta}{\lambda} \sin \varphi_0 \quad (1.7)$$

$u_0(n)$ là tín hiệu thu được tại an-ten 0 trong hình 3, được xem là tín hiệu tham chiếu; w_k là trọng số của bộ tạo búp sóng. Bây giờ bài toán được phát biểu như sau: Tìm tập hợp các hệ số tối ưu của bộ lọc $w_{o0}, w_{o1}, w_{o2}, \dots, w_{oM-1}$ để cực tiểu hóa giá trị bình phương trung bình của ngõ ra bộ lọc $y(n)$, tuân theo ràng buộc tuyến tính:

$$\sum_{k=0}^{M-1} w_k^* e^{-jk\theta_0} = g \quad (1.8)$$

Trong đó θ_0 là giá trị cho trước của tần số góc điện θ , nằm trong khoảng:

$$-\pi \leq \theta \leq \pi \quad (1.9)$$

Và g là độ lợi có giá trị phức. Bộ tạo búp sóng có băng tần hẹp, nghĩa là đáp ứng của nó chỉ cần được hạn chế ở một tần số duy nhất.

So sánh xử lý tín hiệu trong miền thời gian của Hình 2 và không gian của Hình 3, mặc dù giải quyết các tình huống vật lý hoàn toàn khác nhau, nhưng các công thức là tương đương về mặt toán học. Thật vậy, trong cả hai trường hợp, đều cần phải giải quyết bài toán tối ưu hóa có ràng buộc giống nhau. Sử dụng phương pháp nhân tử Lagrange (methods of Lagrange multipliers) để giải quyết bài toán tối ưu này, bắt đầu với xác định giá trị thực của “hàm chi phí (cost function)” J bao gồm 2 phần của vấn đề tối ưu tuyến tính có ràng buộc. Cụ thể:

$$J = \sum_{k=0}^{M-1} \sum_{i=0}^{M-1} w_k^* w_i r(i-k) + \operatorname{Re} \left[\lambda * \left(\sum_{k=0}^{M-1} w_k^* e^{-jk\theta_0} - g \right) \right] \quad (1.10)$$

Với $\sum_{k=0}^{M-1} \sum_{i=0}^{M-1} w_k^* w_i r(i-k)$ là công suất ngõ ra và $\operatorname{Re}[\lambda(\sum_{k=0}^{M-1} w_k^* e^{-jk\theta_0} - g)]$ là ràng buộc tuyến tính. λ là nhân tử Lagrange phíc, và lưu ý rằng không có đáp ứng mong muốn trong biểu thức hàm chi phí J ; đúng hơn, nó bao gồm một ràng buộc tuyến tính phải được thỏa mãn đối với góc điện quy định θ_0 đối với bộ tạo búp sóng, hoặc, tương đương, tần số góc ω_0 trong lọc FIR. Trong mọi trường hợp, việc áp đặt ràng buộc tuyến tính sẽ bảo toàn tín hiệu quan tâm và việc tối thiểu hóa hàm chi phí J sẽ làm giảm nhiễu hoặc can nhiễu.

Giải pháp tối ưu cho bài toán tạo búp sóng (beamforming):

Cần tìm được các giá trị tối ưu của các phần tử trọng số của bộ tạo búp sóng để giảm thiểu hàm chi phí J được xác định trong biểu thức (1.10). Để làm như vậy, xác định vector gradient ∇J và cho nó bằng 0. Do đó có thể tìm được phần tử thứ k của vector gradient ∇J :

$$\nabla_k J = 2 \sum_{i=0}^{M-1} w_i r(i-k) + \lambda * e^{-jk\theta_0} \quad (1.11)$$

Gọi w_{oi} là phần tử thứ i của vector trọng số tối ưu \mathbf{w}_o . Điều kiện cho việc tối ưu bộ tạo búp sóng:

$$\sum_{i=0}^{M-1} w_{oi} r(i-k) = -\frac{\lambda^*}{2} e^{-jk\theta_0}, k = 0, 1, \dots, M-1 \quad (1.12)$$

M phương trình đồng thời này xác định các giá trị tối ưu của trọng số của bộ tạo búp sóng. Nó có dạng hơi giống với dạng của phương trình Wiener–Hopf.

Chuyển biểu thức sang dạng ma trận để dễ dàng tính toán:

$$\mathbf{R}\mathbf{w}_o = -\frac{\lambda^*}{2} \mathbf{s}(\theta_0) \quad (1.13)$$

Với \mathbf{R} là ma trận tương quan $M \times M$ và \mathbf{w}_o là vector trọng số tối ưu $M \times 1$. Vector lái $M \times 1$ được định nghĩa:

$$\mathbf{s}(\theta_0) = [1, e^{-j\theta_0}, \dots, e^{-j(M-1)\theta_0}]^T \quad (1.14)$$

Do đó có thể viết lại biểu thức cho \mathbf{w}_o :

$$\mathbf{w}_o = -\frac{\lambda^*}{2} \mathbf{R}^{-1} \mathbf{s}(\theta_0) \quad (1.15)$$

Trong đó, \mathbf{R}^{-1} ma trận nghịch đảo của ma trận \mathbf{R} , giả sử ma trận này không suy biến (nonsingular). Giả sử này hoàn toàn hợp lý trong thực tế vì thực tế là, đối với bộ tạo búp sóng sóng, tín hiệu nhận được ở đầu ra của mỗi phần tử an-ten của hệ thống có thể bao gồm thành phần nhiễu trắng (nhiễu nhiệt) đại diện cho nhiễu cảm biến.

Giải pháp cho vector trọng số tối ưu được đưa ra trong biểu thức (1.15) chưa tối ưu, vì liên quan đến hệ số nhân Lagrange λ chưa biết (hay chính xác là liên hợp phức của nó). Để loại bỏ λ^* , trước tiên sử dụng ràng buộc tuyến tính của biểu thức (1.8) để viết:

$$\mathbf{w}_o^H \mathbf{s}(\theta_0) = g \quad (1.16)$$

Trong đó H là biểu thị cho ma trận chuyển vị Hermitian (chuyển vị với phức liên hợp). Do đó có thể tìm được λ :

$$\lambda = -\frac{2g}{\mathbf{s}^H(\theta_0) \mathbf{R}^{-1} \mathbf{s}(\theta_0)} \quad (1.17)$$

Với việc sử dụng $\mathbf{R}^{-1} = \mathbf{R}^H$. Dạng bậc 2 của $\mathbf{s}^H(\theta_0) \mathbf{R}^{-1} \mathbf{s}(\theta_0)$ là giá trị thực. Do đó, có thể tìm được vector trọng số tối ưu:

$$\mathbf{w}_o = \frac{g^* \mathbf{R}^{-1} \mathbf{s}(\theta_0)}{\mathbf{s}^H(\theta_0) \mathbf{R}^{-1} \mathbf{s}(\theta_0)} \quad (1.18)$$

Lưu ý rằng bằng cách giảm thiểu công suất đầu ra tuân theo ràng buộc tuyến tính của phương trình (1.16), các tín hiệu tới trên dây theo các hướng khác với θ_0 có xu hướng bị suy giảm.

Bộ tạo búp sóng được đặc trưng bởi vector trọng số \mathbf{w}_o được gọi là bộ tạo búp sóng có phương sai tối thiểu với ràng buộc tuyến tính (Linearly Constrained Minimum-Variance LCMV). Đối với ngõ vào có giá trị trung bình bằng 0 và do đó ngõ ra có giá trị trung bình bằng 0, “phương sai tối thiểu” và “giá trị bình phương trung bình tối thiểu” thực sự đồng nghĩa với nhau. Ngoài ra, như đã trình bày trên, giải pháp được xác định bởi phương trình (1.18) với ω_0 thay thế cho θ_0 có thể được gọi là bộ lọc LCMV. Mặc dù bộ tạo búp sóng LCMV và bộ lọc LCMV khá khác nhau về mặt vật lý nhưng việc tối ưu của chúng là như nhau về mặt toán học.

I.2.2. Bộ triệt các búp bên tổng quát (Generalized Sidelobes Cancellers):

Mở rộng với bộ tạo búp sóng băng hẹp LCMV được xác định bởi ràng buộc tuyến tính của biểu thức (1.8), lưu ý rằng ràng buộc này thể hiện tích vô hướng:

$$\mathbf{w}^H \mathbf{s}(\theta_0) = g \quad (2.1)$$

Với \mathbf{w} là vector trọng số và $\mathbf{s}(\theta_0)$ là vector lái kích thước $M \times 1$ dọc theo góc điện θ_0 , M là số phần tử an-ten. Có thể tổng quát khái niệm ràng buộc tuyến tính bằng cách đưa ra nhiều ràng buộc tuyến tính:

$$\mathbf{C}^H \mathbf{w} = \mathbf{g} \quad (2.2)$$

Ma trận \mathbf{C} là ma trận ràng buộc tuyến tính, và vector độ lợi \mathbf{g} có số phần tử cố định. Giả sử có L ràng buộc tuyến tính, \mathbf{C} là ma trận kích thước $M \times M$ và \mathbf{g} có kích thước $L \times 1$; mỗi cột trong ma trận \mathbf{C} biểu thị cho mỗi ràng buộc tuyến tính. Ngoài ra, giả sử các ràng buộc này độc lập với nhau, ví dụ:

$$[\mathbf{s}(\theta_0), \mathbf{s}(\theta_1)]^H \mathbf{w} = [1 \ 0]^T \quad (2.3)$$

Bộ tạo búp sóng băng hẹp bị ràng buộc để duy trì tín hiệu mong muốn đến dãy dọc theo góc điện θ_0 , đồng thời, triệt can nhiễu biết trước theo góc điện θ_1 .

Đặt các cột của ma trận \mathbf{C}_a kích thước $M \times (M - L)$ được xác định là phần bù trực giao của các cột của ma trận \mathbf{C} , ta có thể định nghĩa ma trận \mathbf{C}_a :

$$\mathbf{C}^H \mathbf{C}_a = \mathbf{0} \quad (2.4)$$

Hoặc:

$$\mathbf{C}_a^H \mathbf{C} = \mathbf{0} \quad (2.5)$$

Ma trận $\mathbf{0}$ ở 2 biểu thức trên có kích thước $L \times (M - L)$ và $(M - L) \times L$, với thực tế $M > L$.

Xác định ma trận phân vùng $M \times M$:

$$\mathbf{U} = [\mathbf{C} : \mathbf{C}_a] \quad (2.6)$$

có các cột trải rộng trên toàn bộ không gian tín hiệu M chiều. Ma trận nghịch đảo \mathbf{U}^{-1} tồn tại nhờ định thức của ma trận \mathbf{U} khác 0.

Do đó vector trọng số \mathbf{w} được xác định theo ma trận \mathbf{U} :

$$\mathbf{w} = \mathbf{U}\mathbf{q} \quad (2.7)$$

Trong đó vector \mathbf{q} kích thước $M \times M$ được xác định bởi:

$$\mathbf{q} = \mathbf{U}^{-1}\mathbf{w} \quad (2.8)$$

Với \mathbf{q} được phân vùng tương tự biểu thức (2.6):

$$\mathbf{q} = [\mathbf{v} : -\mathbf{w}_a]^T \quad (2.9)$$

Trong đó \mathbf{v} là vector kích thước $L \times 1$ và vector \mathbf{w}_a kích thước $(M - L) \times 1$ là phần của vector trọng số \mathbf{w} không bị ảnh hưởng bởi các ràng buộc. Do đó có thể viết lại biểu thức (2.7):

$$\mathbf{w} = [\mathbf{C} : \mathbf{C}_a][\mathbf{v} : -\mathbf{w}_a]^T = \mathbf{C}\mathbf{v} - \mathbf{C}_a\mathbf{w}_a \quad (2.10)$$

Áp dụng các tuyến tính ràng buộc vào biểu thức (2.2) ta có:

$$\mathbf{C}^H \mathbf{C}\mathbf{v} - \mathbf{C}^H \mathbf{C}_a\mathbf{w}_a = \mathbf{g} \quad (2.11)$$

Với việc $\mathbf{C}^H \mathbf{C}_a = 0$ do đó có thể viết lại:

$$\mathbf{C}^H \mathbf{C}\mathbf{v} = \mathbf{g} \quad (2.12)$$

Do đó có thể tìm được \mathbf{v} :

$$\mathbf{v} = (\mathbf{C}^H \mathbf{C})^{-1} \mathbf{g} \quad (2.13)$$

Biểu thức (2.13) cho thấy các ràng buộc tuyến tính không ảnh hưởng đến \mathbf{w}_a . Tiếp theo, xác định thành phần bộ tạo búp sóng cố định:

$$\mathbf{w}_q = \mathbf{C}\mathbf{v} = \mathbf{C}(\mathbf{C}^H \mathbf{C})^{-1} \mathbf{g} \quad (2.14)$$

Vector này trực giao với các cột của ma trận \mathbf{C}_a nhờ các tính chất được mô tả trong biểu thức (2.5).

Từ định nghĩa này, chúng ta có thể sử dụng phương trình (2.10) để biểu thị vector trọng số tổng quát của bộ tạo búp sóng:

$$\mathbf{w} = \mathbf{w}_q - \mathbf{C}_a\mathbf{w}_a \quad (2.15)$$

Do đó có thể viết lại biểu thức (2.2):

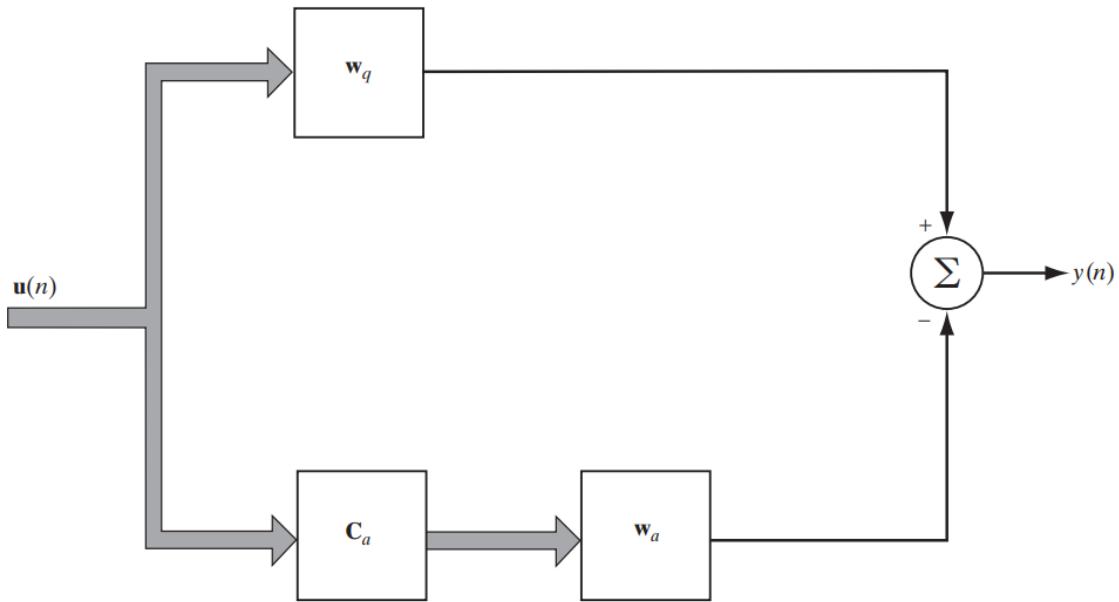
$$\mathbf{C}^H \mathbf{w}_q - \mathbf{C}^H \mathbf{C}_a\mathbf{w}_a = \mathbf{g} \quad (2.16)$$

Hay có thể viết lại:

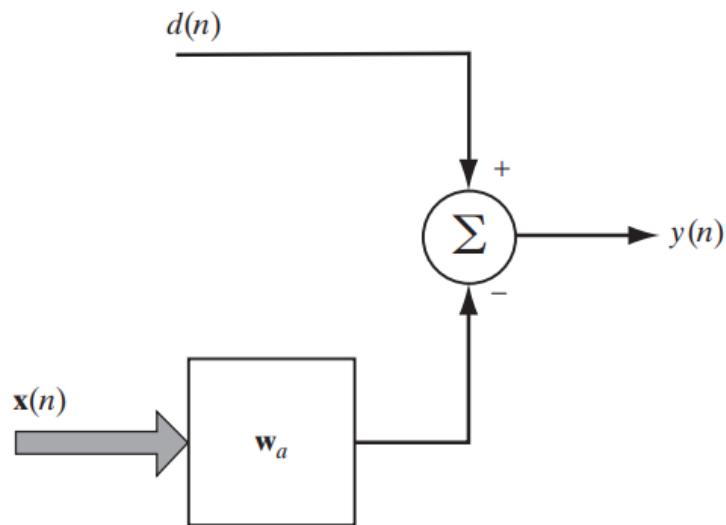
$$\mathbf{C}^H \mathbf{w}_q = \mathbf{g} \quad (2.17)$$

Biểu thức (2.17) cho thấy vector trọng số \mathbf{w}_q là một phần của vector trọng số \mathbf{w} thỏa mãn các ràng buộc. Ngược lại, vector \mathbf{w}_a không bị ảnh hưởng bởi các ràng buộc; do đó nó cung cấp các bậc tự do được xây dựng trong thiết kế của bộ tạo búp sóng. Vì vậy,

theo phương trình (2.15), bộ tạo búp sóng có thể được biểu diễn bằng sơ đồ khói như trong Hình 4. Bộ tạo búp sóng tia được mô tả ở đây được gọi là bộ triệt các búp bên tổng quát (Generalized Sidelobes Cancellers - GSC).



Hình 4. Sơ đồ khói của bộ triệt các búp bên tổng quát GSC.



Hình 5. Đưa bài toán GSC về bài toán bộ lọc tối ưu tiêu chuẩn.

Theo biểu thức (2.14), bây giờ có thể thực hiện tối thiểu hóa không ràng buộc giá trị bình phương trung bình của ngõ ra bộ tạo búp sóng $y(n)$ đối với vector trọng số có thể điều chỉnh w_a . Theo phương trình (1.6), ngõ ra của bộ tạo búp sóng được xác định bởi tích vô hướng:

$$y(n) = w^H u(n) \quad (2.18)$$

Với vector tín hiệu ngõ vào:

$$\mathbf{u}(n) = u_0(n)[1, e^{-j\theta_0}, \dots, e^{-j(M-1)\theta_0}]^T \quad (2.19)$$

Trong đó góc điện θ_0 được xác định bởi hướng đến của sóng phẳng tới và $u_0(n)$ là tín hiệu điện được thu bởi phần tử an-ten 0 của dãy tuyền tính trong Hình 2.10 tại thời điểm n . Do đó, thay thế phương trình (2.15) vào phương trình (2.18):

$$y(n) = \mathbf{w}_q^H \mathbf{u}(n) - \mathbf{w}_a^H \mathbf{C}_a^H \mathbf{u}(n) \quad (2.20)$$

Do đó nếu xác định:

$$d(n) = \mathbf{w}_q^H \mathbf{u}(n) \quad (2.21)$$

Và:

$$\mathbf{x}(n) = \mathbf{C}_a^H \mathbf{u}(n) \quad (2.22)$$

Có thể viết lại biểu thức dưới dạng tương đồng với bộ lọc Wiener:

$$y(n) = d(n) - \mathbf{w}_a^H \mathbf{x}(n) \quad (2.23)$$

Trong đó, $d(n)$ đóng vai trò như “đáp ứng mong muốn” cho GSC và $\mathbf{x}(n)$ đóng vai trò của vector ngõ vào, như biểu diễn trong Hình 5. Do đó, chúng ta thấy rằng việc sử dụng kết hợp vector \mathbf{w}_q và ma trận \mathbf{C}_a đã chuyển đổi bài toán tối ưu ràng buộc tuyền tính thành bài toán lọc tối ưu tiêu chuẩn. Đặc biệt, bây giờ chúng ta có một vấn đề tối ưu hóa không bị ràng buộc liên quan đến phần \mathbf{w}_a có thể điều chỉnh của vector trọng số, có thể được viết chính thức là

$$\min_{\mathbf{w}_a} E[|y(n)|^2] = \min_{\mathbf{w}_a} (\sigma_d^2 - \mathbf{w}_a^H \mathbf{p}_x - \mathbf{p}_x^H \mathbf{w}_a + \mathbf{w}_a^H \mathbf{R}_x \mathbf{w}_a) \quad (2.24)$$

Với vector tương quan chéo $(M - L) \times 1$:

$$\mathbf{p}_x = E[\mathbf{x}(n) \mathbf{d}^*(n)] \quad (2.25)$$

Và ma trận tương quan $(M - L) \times (M - L)$:

$$\mathbf{R}_x = E[\mathbf{x}(n) \mathbf{x}^H(n)] \quad (2.26)$$

Hàm chi phí ở biểu thức là hàm bậc 2 theo vector chưa biết \mathbf{w}_a , mà, như đã nêu trước đây, thể hiện bậc tự do có sẵn trong GSC. Quan trọng nhất, hàm chi phí này có dạng toán học giống hệt như bộ lọc Wiener tiêu chuẩn được xác định. Theo đó, chúng ta có thể dễ dàng sử dụng các kết quả có sẵn của bộ lọc Wiener để đạt được giá trị tối ưu của \mathbf{w}_a :

$$\mathbf{w}_{ao} = \mathbf{R}_x^{-1} \mathbf{p}_x \quad (2.27)$$

Từ biểu thức (2.21) và (2.22) ta có thể biểu diễn lại \mathbf{p}_x :

$$\mathbf{p}_x = E[\mathbf{C}_a^H \mathbf{u}(n) \mathbf{u}^H(n) \mathbf{w}_q] = \mathbf{C}_a^H E[\mathbf{u}(n) \mathbf{u}^H(n)] \mathbf{w}_q = \mathbf{C}_a^H \mathbf{R} \mathbf{w}_q \quad (2.28)$$

Trong đó \mathbf{R} là ma trận tương quan của vector dữ liệu tới $\mathbf{u}(n)$. Tương tự trên ta xác định được ma trận \mathbf{R}_x :

$$\mathbf{R}_x = E[\mathbf{C}_a^H \mathbf{u}(n) \mathbf{u}^H(n) \mathbf{C}_a] = \mathbf{C}_a^H \mathbf{R} \mathbf{C}_a \quad (2.29)$$

Ma trận \mathbf{C}_a có thứ hạng đầy đủ và ma trận tương quan \mathbf{R} xác định dương, do dữ liệu đến luôn chứa một số dạng nhiễu, do đó \mathbf{R}_x không suy biến. Theo đó, chúng ta có thể viết lại nghiệm tối ưu của phương trình (2.27) dưới dạng:

$$\mathbf{w}_{ao} = (\mathbf{C}_a^H \mathbf{R} \mathbf{C}_a)^{-1} \mathbf{C}_a^H \mathbf{R} \mathbf{w}_q \quad (2.30)$$

Xét trường hợp đặc biệt là “môi trường yên tĩnh (quiet environment)”, trong đó tín hiệu thu được chỉ bao gồm nhiễu trắng. Ma trận tương quan \mathbf{R} :

$$\mathbf{R} = \sigma^2 \mathbf{I} \quad (2.31)$$

Với \mathbf{I} là ma trận nhận biết và σ^2 là phương sai nhiễu. Dưới điều kiện này, ta tìm được \mathbf{w}_{ao} như với biểu thức (2.27):

$$\mathbf{w}_{ao} = (\mathbf{C}_a^H \mathbf{C}_a)^{-1} \mathbf{C}_a^H \mathbf{w}_q \quad (2.32)$$

Theo định nghĩa, vector trọng số \mathbf{w}_q trực giao với các cột của ma trận \mathbf{C}_a . Do đó, vector trọng số tối ưu \mathbf{w}_{ao} bằng 0 đối với môi trường yên tĩnh được mô tả bởi biểu thức (2.31). Do đó, với \mathbf{w}_{ao} bằng 0, chúng ta tìm thấy từ biểu thức (2.15) rằng $\mathbf{w} = \mathbf{w}_q$. Vì lý do này mà \mathbf{w}_q thường được gọi là vector trọng số tĩnh, do đó người ta sử dụng chỉ số dưới q để biểu thị nó.

CHƯƠNG II: MÔ PHỎNG GIẢI THUẬT TRÊN MATLAB

Bài toán mô phỏng giải thuật:

Xét các tín hiệu đến là 3 tín hiệu có hướng tới tạo với phương vuông góc của dãy anten thu tín hiệu lần lượt là $\varphi_0, \varphi_1, \varphi_2$ (tín hiệu mong muốn tại góc φ_0). Trong đó, tín hiệu mong muốn thu được có hướng tới tại góc φ_0 , 2 tín hiệu còn lại là can nhiễu. Dãy anten thu tín hiệu gồm M phần tử, do đó vector trọng số của dãy cũng có M phần tử tương ứng. Tìm giải thuật tối ưu tín hiệu mong muốn.

Phân tích bài toán:

Tìm vector trọng số $w = [w_0, w_1, w_2, \dots, w_{M-1}]^T$ sao cho phương sai ngõ ra $P_o = E[|y(n)|^2]$ nhỏ nhất đồng thời thỏa $w^H s(\theta_0) = g$ với g là độ lợi có giá trị thực cho trước. Trong đó

$$s(\theta_0) = [1, e^{-j\theta_0}, \dots, e^{-j(M-1)\theta_0}]^T \quad (3.1)$$

Là vector lái ứng với góc tới mong muốn; góc điện θ_0 được xác định như sau:

$$\theta_0 = 2\pi \frac{\Delta}{\lambda} \sin \varphi_0 \quad (3.2)$$

Trong đó, Δ là khoảng cách giữa các phần tử anten, thông thường chuẩn hóa $\Delta = 0.5\lambda$.

Dựa vào các lý thuyết trình bày ở chương I, thực hiện mô phỏng 2 giải thuật nghiên cứu bằng phần mềm MATLAB. Các thông số cho trước: $\varphi_0 = -60^\circ, \varphi_1 = -50^\circ, \varphi_2 = -40^\circ$. Độ lợi g được chuẩn hóa $g = 1$; phương sai tín hiệu ngõ vào đều bằng 1, phương sai nhiễu 0.1, số phần tử anten $M = 20$. Để thuận tiện cho việc quan sát kết quả giải thuật, vẽ đồ thị tuyến tính $|B(\varphi)|^2$ và tính toán Root Mean-square Error là độ sai lệch trung bình của tín hiệu tại ngõ ra và tín hiệu muôn thu, với k là số mẫu tín hiệu:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{k} \sum_{n=0}^{k-1} |y(n) - d(n)|^2}; \quad (3.3)$$

II.1. Tối thiểu phương sai có ràng buộc tuyến tính (LCMV):

II.1.1. Lời giải để mô phỏng giải thuật:

Từ biểu thức (1.17), với g có giá trị thực, vector lái ứng với hướng tới của tín hiệu mong muốn $s(\theta_0)$ ta có:

$$w_{opt} = \frac{g R^{-1} s(\theta_0)}{s^H(\theta_0) R^{-1} s(\theta_0)} \quad (3.4)$$

Với ma trận tương quan ngõ vào R được xác định:

$$R = R_0 + R_1 + R_2 \quad (3.5)$$

Trong đó, \mathbf{R}_0 , \mathbf{R}_1 , \mathbf{R}_2 là ma trận tương quan ngõ vào của các tín hiệu tới, được xác định:

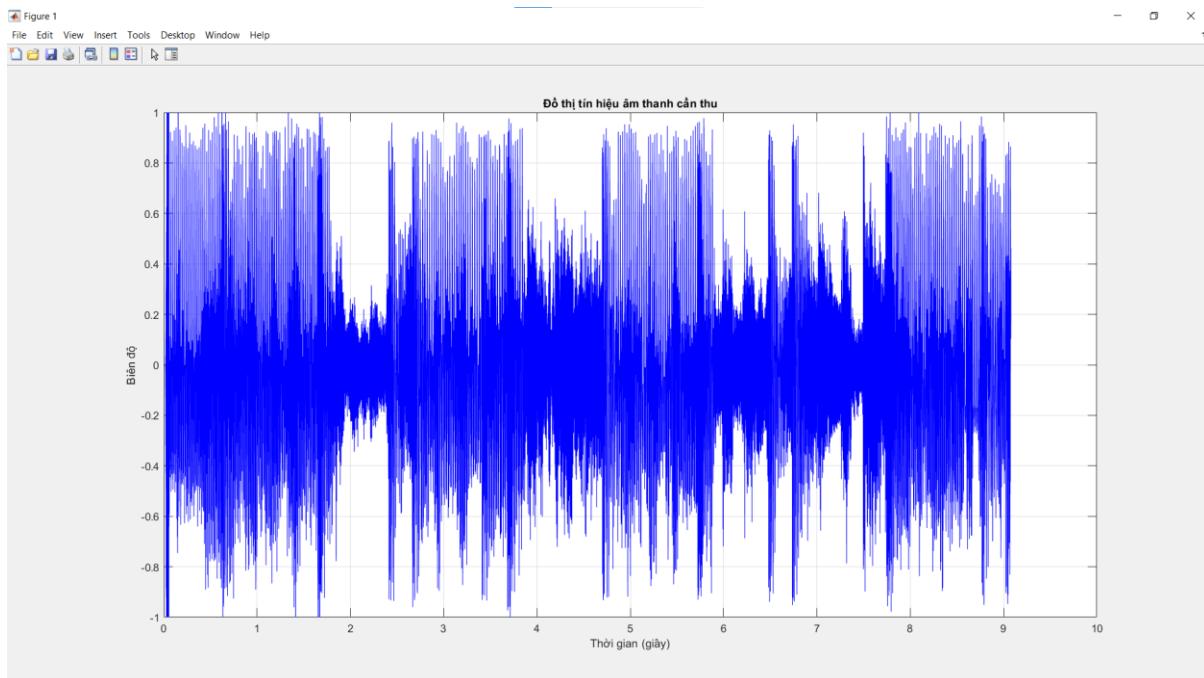
$$\mathbf{R}_i = E[\mathbf{u}_i(n)\mathbf{u}_i^H(n)] = \mathbf{s}^H(\theta_i)P_i\mathbf{s}(\theta_i) \quad (3.6)$$

Với P_i là phương sai ngõ vào (công suất) của tín hiệu ở góc điện thứ i .

II.1.2. Thực hiện mô phỏng trên MATLAB:

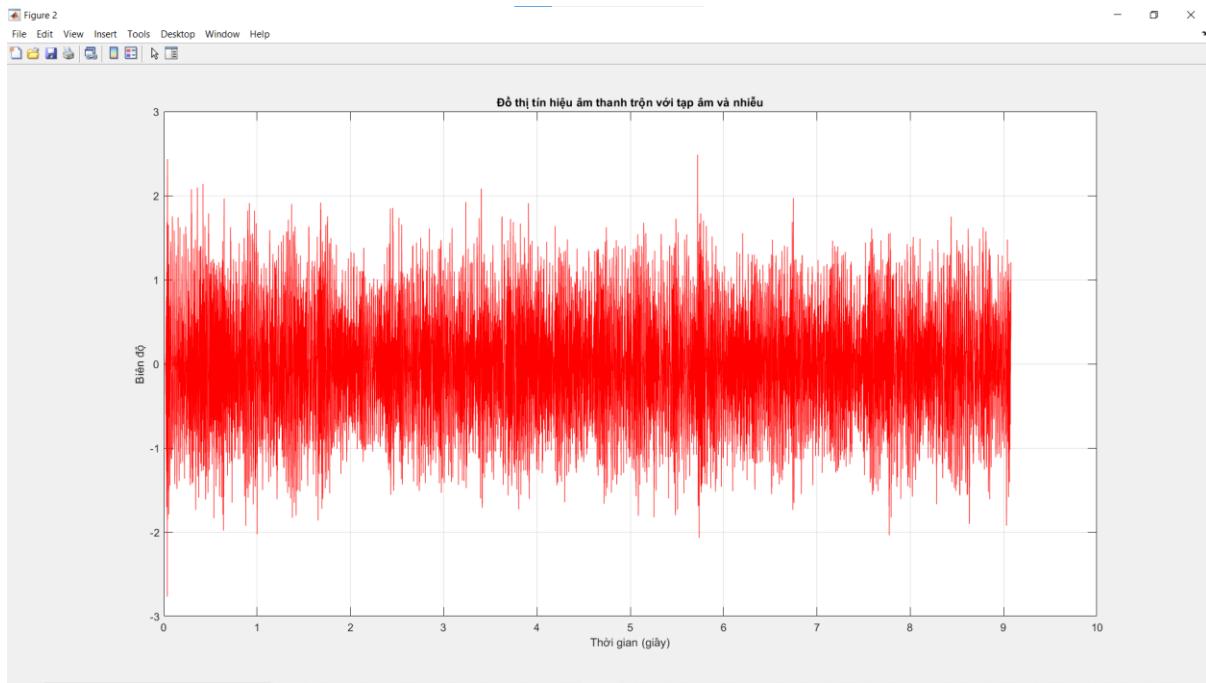
- ❖ Ngõ vào của bộ lọc:

- Tín hiệu cần xử lý:



Hình 6. Tín hiệu gốc cần xử lý.

- Tín hiệu tại ngõ vào của bộ lọc, gồm tín hiệu cần thu, 2 can nhiễu và nhiễu:

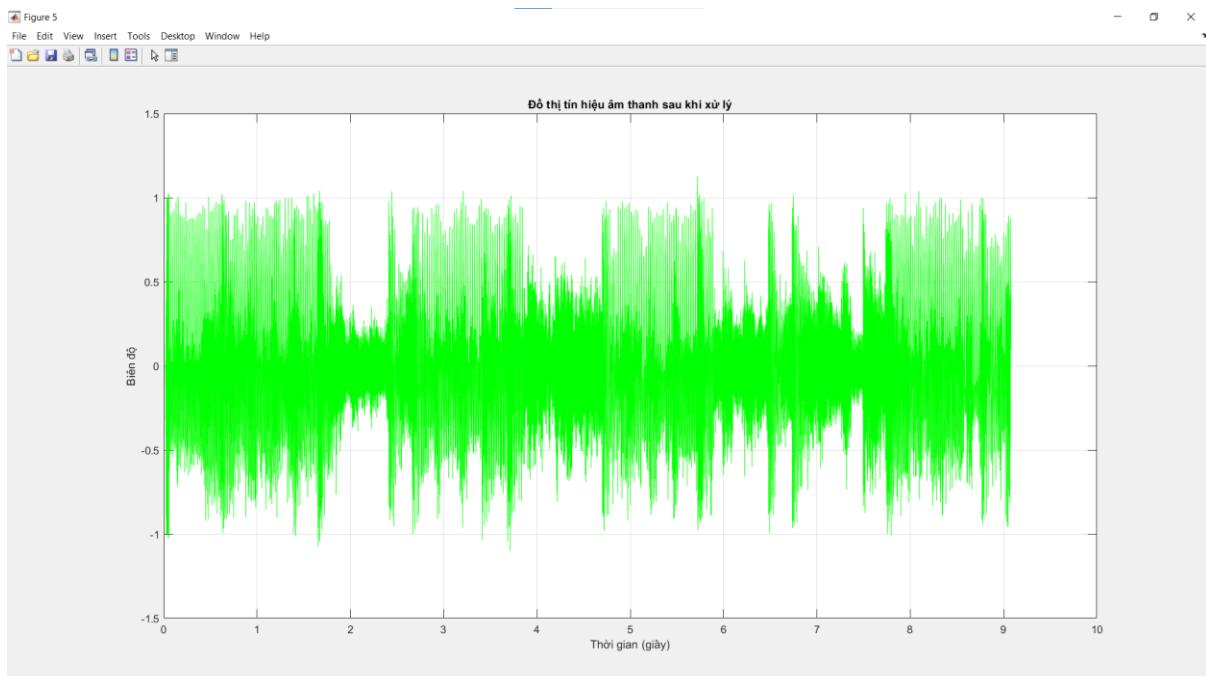


Hình 7. Tín hiệu trộn tại ngõ vào của bộ lọc.

Nhân xét: Tín hiệu trộn gồm tín hiệu mong muốn và 2 can nhiễu kết hợp với nhiễu tại ngõ vào cho kết quả rất hỗn tạp như trên đồ thị.

❖ **Kết quả mô phỏng:**

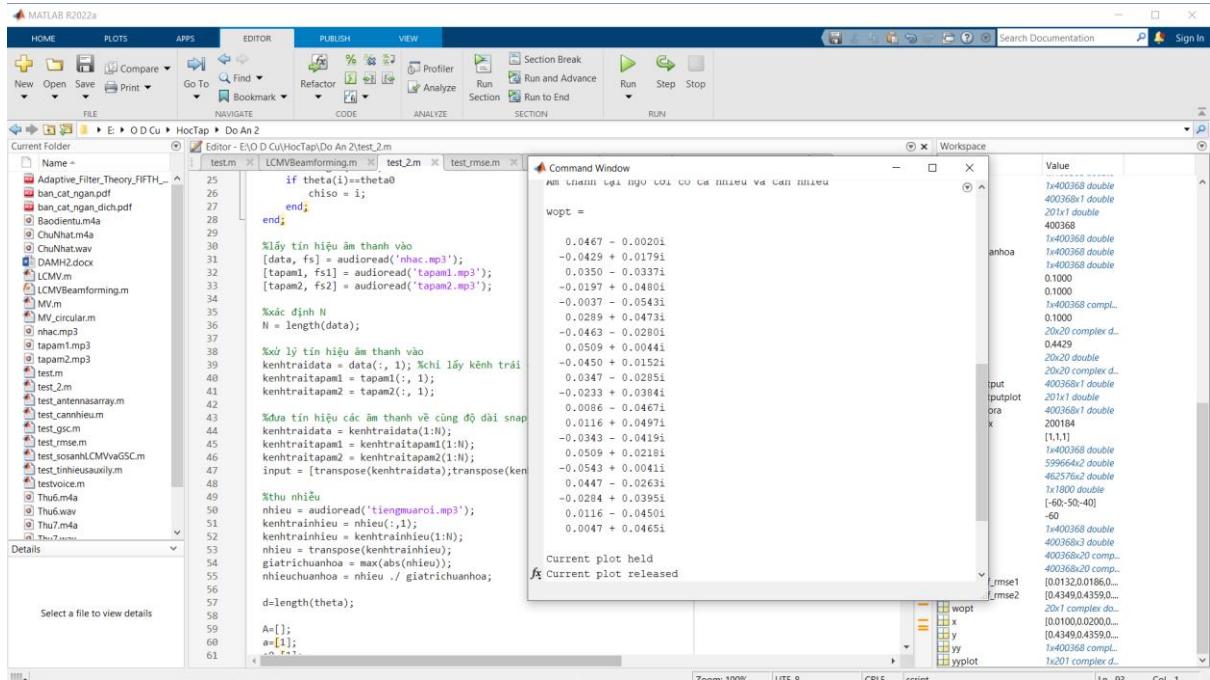
- a) Tín hiệu sau khi đã xử lý tại ngõ ra bộ lọc:



Hình 8. Tín hiệu sau khi qua xử lý.

Nhân xét: Tín hiệu tại ngõ ra sau khi qua xử lý tương đồng với tín hiệu mong muốn.

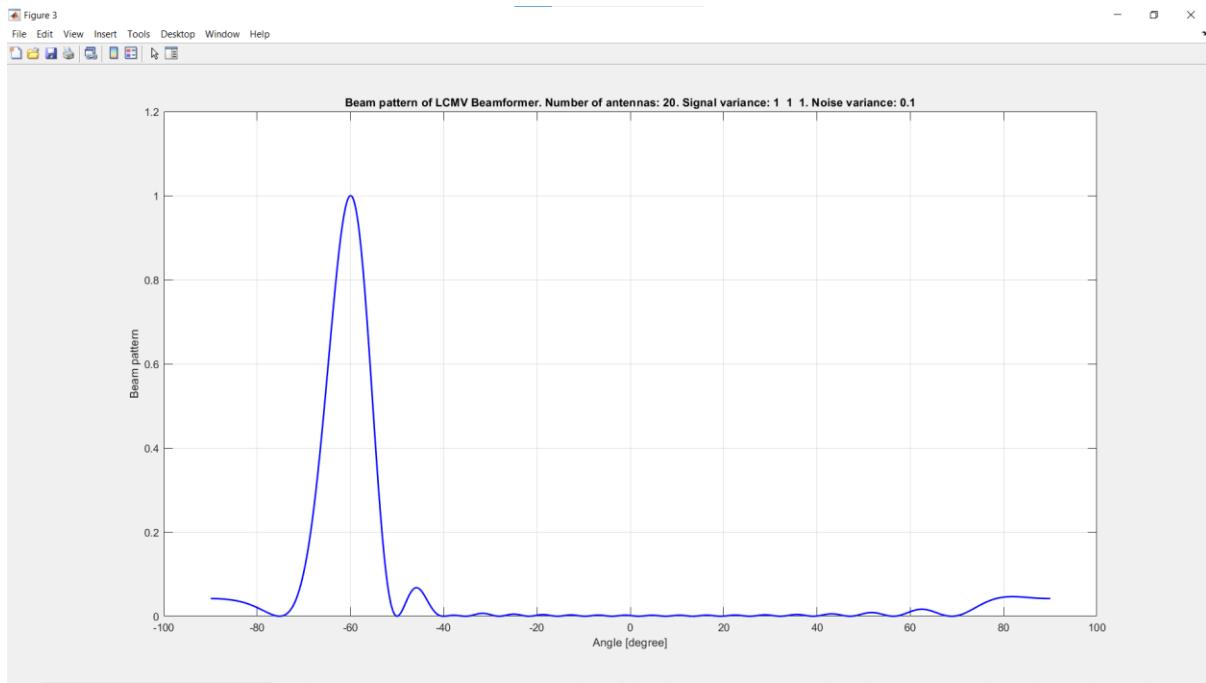
b) Trọng số tối ưu:



Hình 9. Trọng số tối ưu của giải thuật.

$$\begin{aligned}
 \mathbf{w}_{opt} = & [0.0467 - 0.0020i, -0.0429 + 0.0179i, \\
 & 0.0350 - 0.0337i, -0.0197 + 0.0480i, \\
 & -0.0037 - 0.0543i, 0.0289 + 0.0473i, \\
 & -0.0463 - 0.0280i, 0.0509 + 0.0044i, \\
 & -0.0450 + 0.0152i, 0.0347 - 0.0285i, \\
 & -0.0233 + 0.0384i, 0.0086 - 0.0467i, \\
 & 0.0116 + 0.0497i, -0.0343 - 0.0419i, \\
 & 0.0509 + 0.0218i, -0.0543 + 0.0041i, \\
 & 0.0447 - 0.0263i, -0.0284 + 0.0395i, \\
 & 0.0116 - 0.0450i, 0.0047 + 0.0465i]^T
 \end{aligned}$$

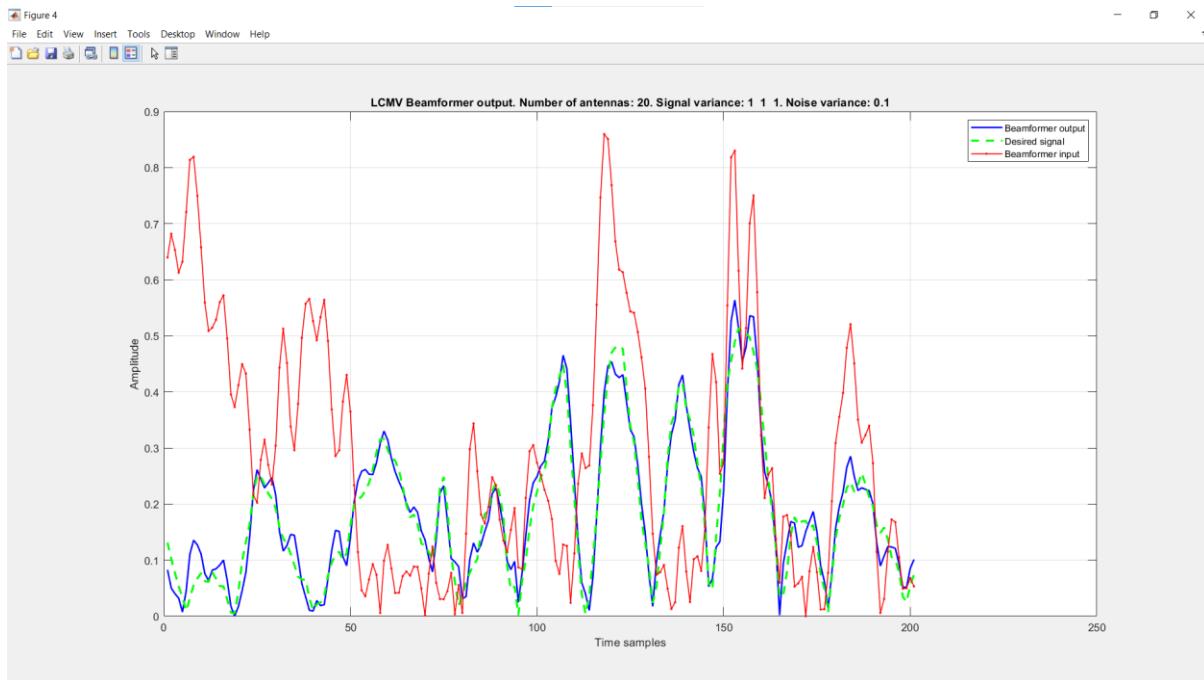
c) Đồ thị tuyển tính:



Hình 10. Đồ thị tần số của giải thuật LCMV.

Nhân xét: Tín hiệu mong muốn tương ứng với góc tới -60° được tối ưu, với hướng búp sóng chính cực đại, đồng thời có nhiều tại góc tới -50° và -40° được triệt tiêu là các điểm null (điểm không), chứng tỏ giải thuật cho khả năng triệt nhiễu cao và tối ưu tín hiệu mong muốn thu được khá tốt.

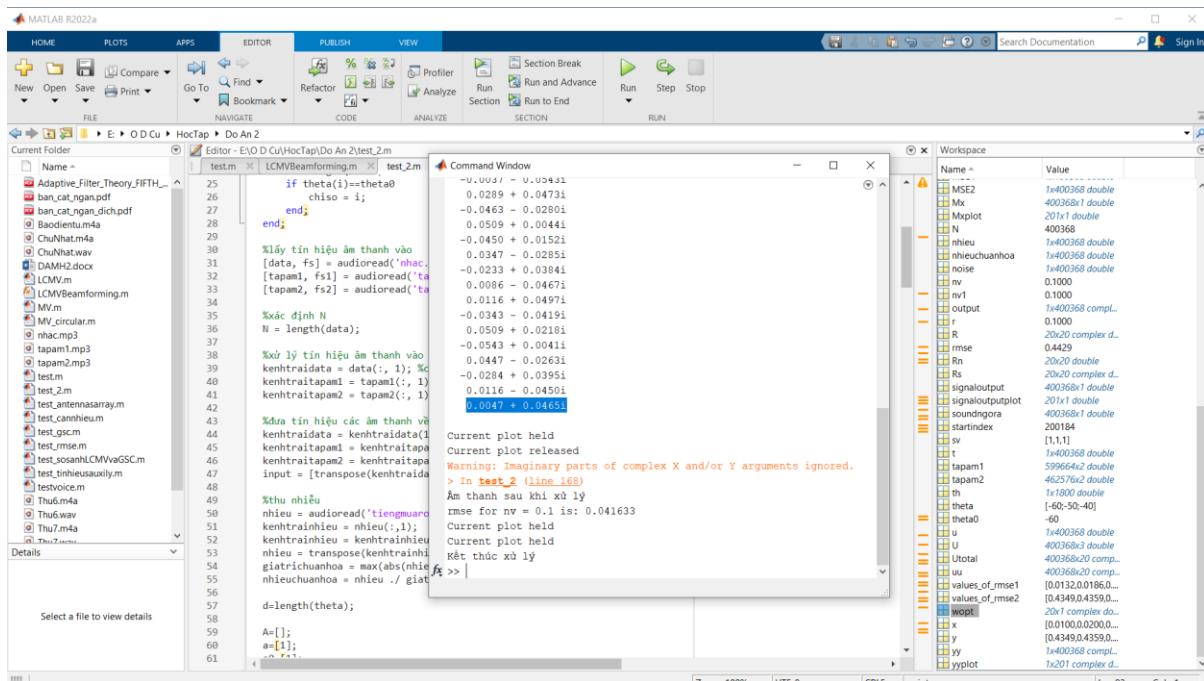
- d) So sánh giữa tín hiệu tại ngõ vào, tín hiệu mong muốn và tín hiệu tại ngõ ra bộ lọc:



Hình 11. Đồ thị so sánh tín hiệu trộn tại ngõ vào, tín hiệu mong muốn và tín hiệu sau khi xử lý tại ngõ ra.

Nhân xét: Đô thị biểu diễn tín hiệu tại ngõ vào (màu đỏ), tín hiệu mong muốn (màu xanh) và tín hiệu tại ngõ ra (màu lục). Có thể thấy 2 đường màu xanh và màu lục rất tương đồng nhau với sai số rất nhỏ, cho thấy tín hiệu tại ngõ ra tương đồng với tín hiệu mong muốn.

e) Root Mean-square Error:



Hình 12. RMSE của giải thuật LCMV.

$RMSE = 0.041633$.

Nhân xét: RMSE nhỏ cho thấy tín hiệu tại ngõ ra sau khi qua xử lý tương đồng với tín hiệu mong muốn.

II.2. Bộ triệt các búp bên tống quát (GSC):

II.2.1. Lời giải để mô phỏng giải thuật:

Khác biệt đối với giải thuật LCMV chính là lúc này không chỉ có một mà là nhiều ràng buộc tuyến tính, đặc trưng bởi ma trận ràng buộc tuyến tính \mathbf{C}_a . Tương ứng lúc này, vector độ lợi \mathbf{g} có dạng [1,0,0] với góc của hướng tới mong muốn tại φ_0 . Vector trọng số tối ưu cho giải thuật này được suy ra từ biểu thức (2.30):

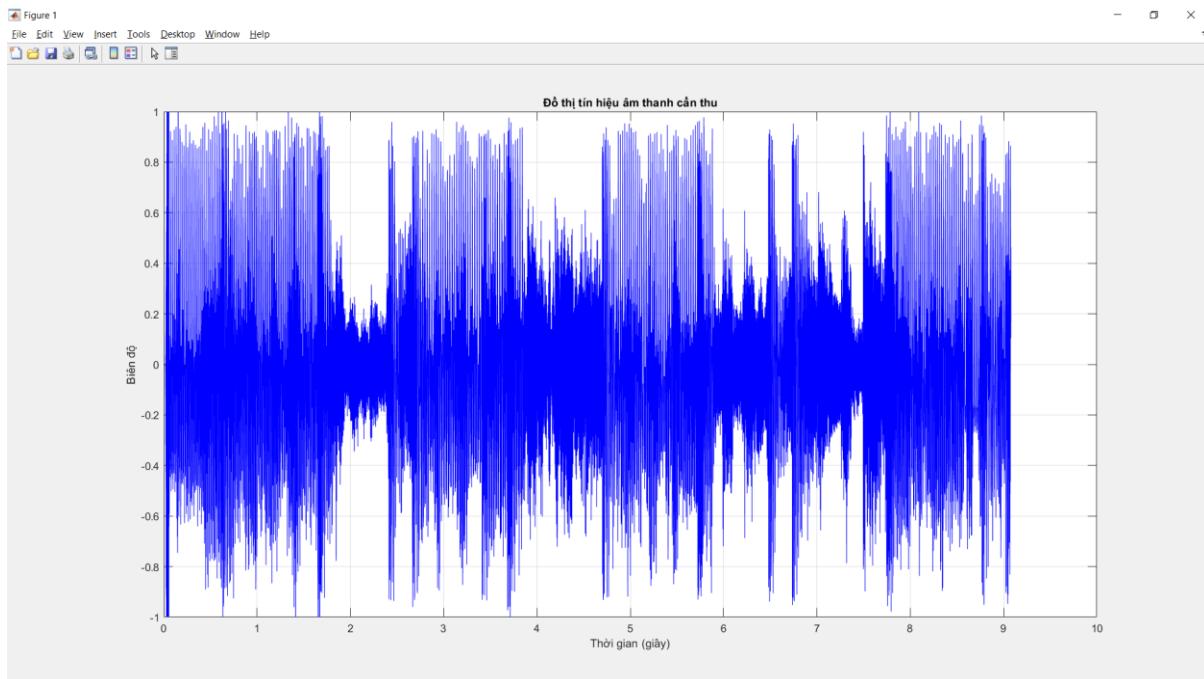
$$\mathbf{w}_{opt} = (\mathbf{C}_a^H \mathbf{R} \mathbf{C}_a)^{-1} \mathbf{C}_a^H \mathbf{R} \mathbf{w}_q \quad (3.7)$$

Trong đó, ma trận tương quan ngõ vào \mathbf{R} được xác định như đối với LCMV; ma trận ràng buộc tuyến tính \mathbf{C}_a và vector trọng số tĩnh \mathbf{w}_q được xác định như lý thuyết chương I.

II.2.2. Thực hiện mô phỏng trên MATLAB:

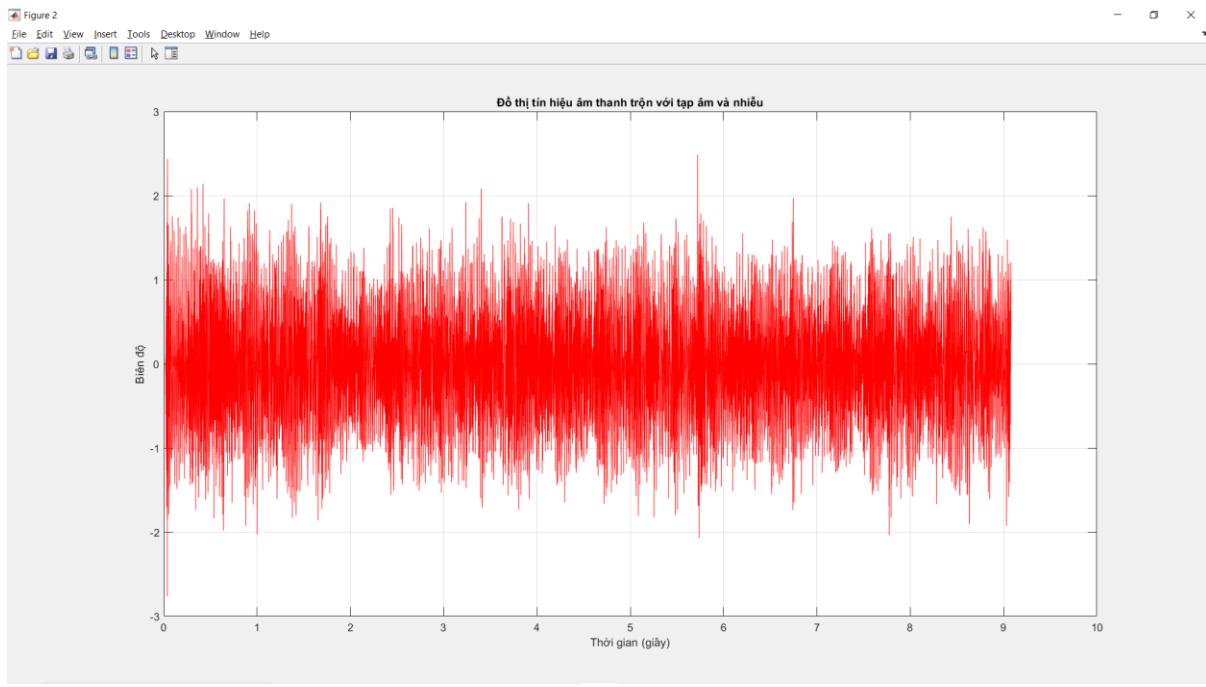
❖ Ngõ vào của bộ lọc:

a) Tín hiệu gốc muốn thu được:



Hình 13. Tín hiệu gốc muốn thu.

b) Tín hiệu tại ngõ vào của bộ lọc, gồm tín hiệu cần thu, 2 can nhiễu và nhiễu:

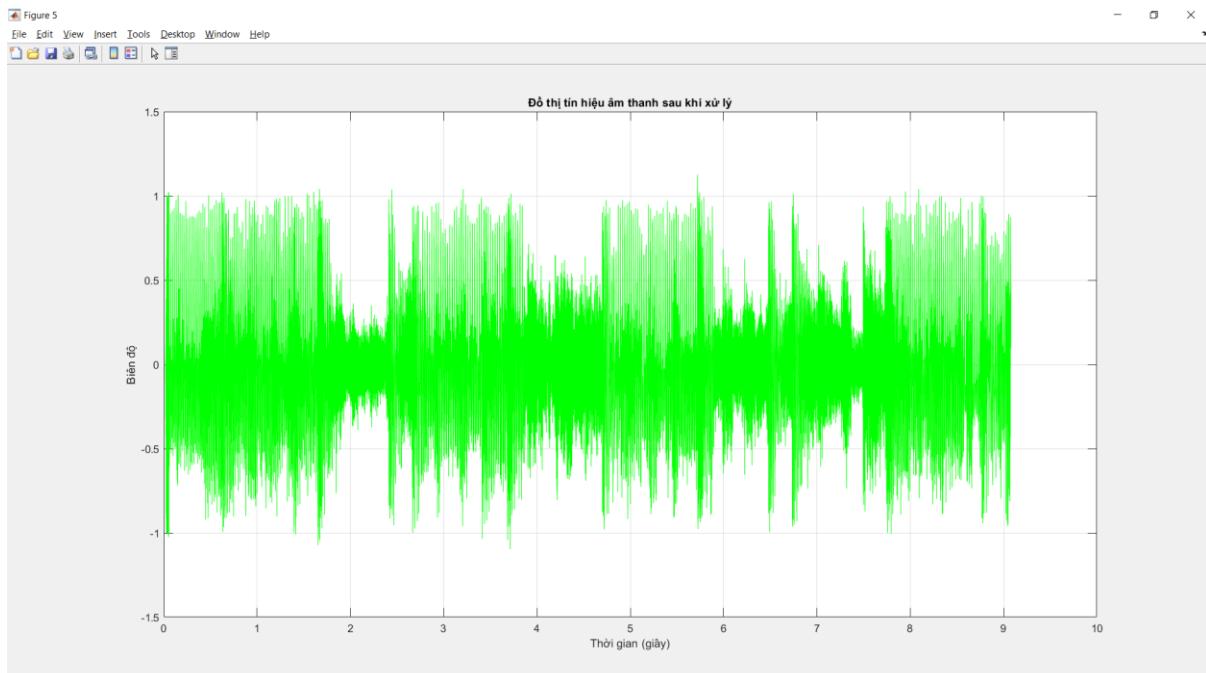


Hình 14. Tín hiệu trộn tại ngõ vào bộ lọc.

Nhận xét: Tương tự với LCMV, tín hiệu trộn gồm tín hiệu mong muốn và 2 can nhiễu kết hợp với nhiễu tại ngõ vào cho kết quả rất hỗn tạp như trên đồ thị.

❖ Kết quả mô phỏng:

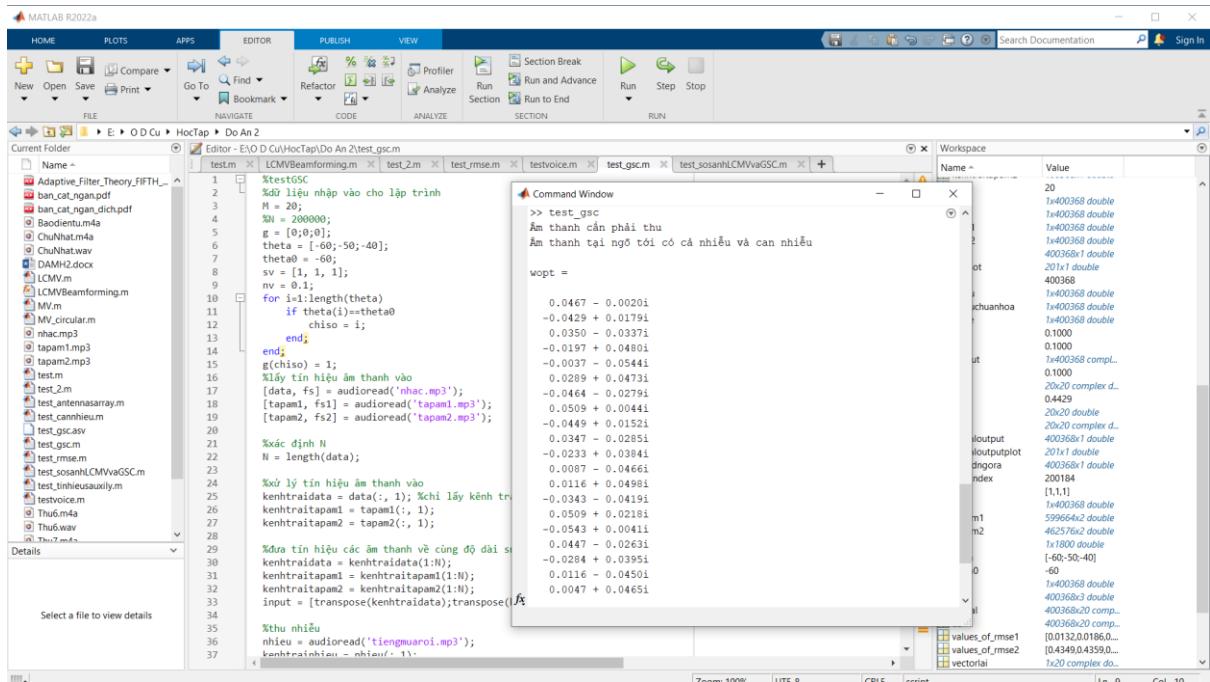
- a) Tín hiệu sau khi đã xử lý tại ngõ ra bộ lọc:



Hình 15. Tín hiệu sau khi xử lý tại ngõ ra.

Nhận xét: Tín hiệu tại ngõ ra sau khi qua xử lý tương đồng với tín hiệu mong muốn.

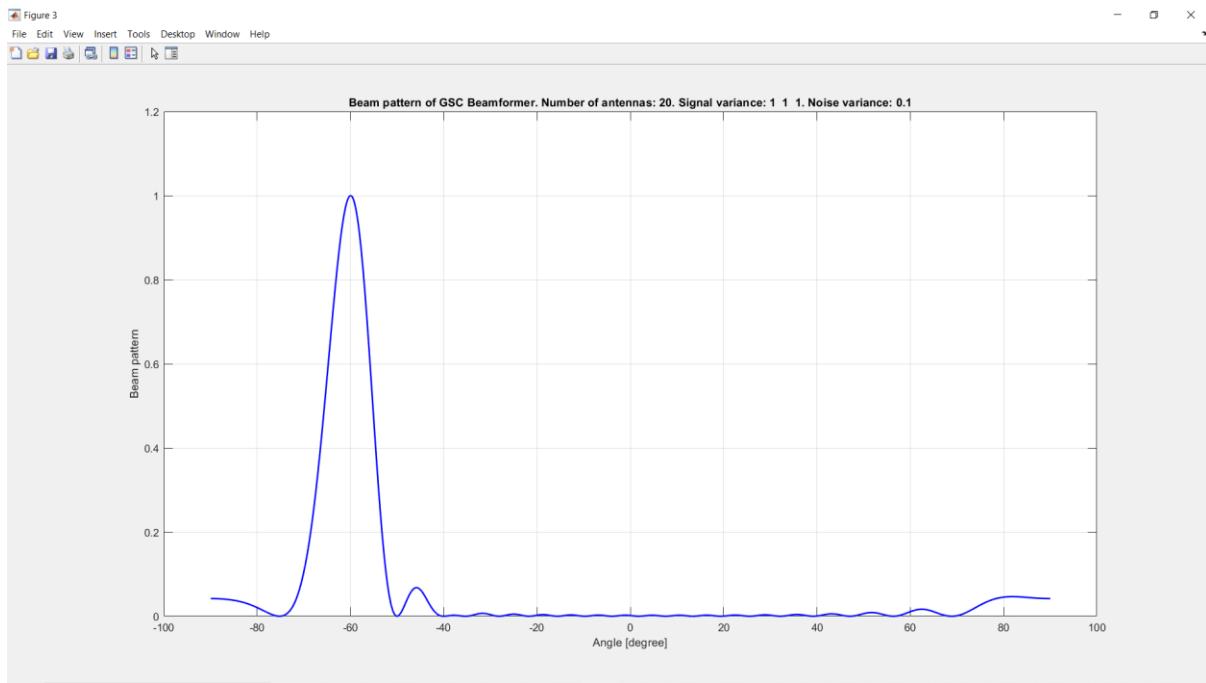
b) Trọng số tối ưu:



Hình 16. Trọng số tối ưu của giải thuật.

$$\begin{aligned}
w_{opt} = & [0.0467 - 0.0020i, \quad -0.0429 + 0.0179i, \\
& 0.0350 - 0.0337i, \quad -0.0197 + 0.0480i, \\
& -0.0037 - 0.0544i, \quad 0.0289 + 0.0473i, \\
& -0.0464 - 0.0279i, \quad 0.0509 + 0.0044i, \\
& -0.0449 + 0.0152i, \quad 0.0347 - 0.0285i, \\
& -0.0233 + 0.0384i, \quad 0.0087 - 0.0466i, \\
& 0.0116 + 0.0498i, \quad -0.0343 - 0.0419i, \\
& 0.0509 + 0.0218i, \quad -0.0543 + 0.0041i, \\
& 0.0447 - 0.0263i, \quad -0.0284 + 0.0395i, \\
& 0.0116 - 0.0450i, \quad 0.0047 + 0.0465i]^T
\end{aligned}$$

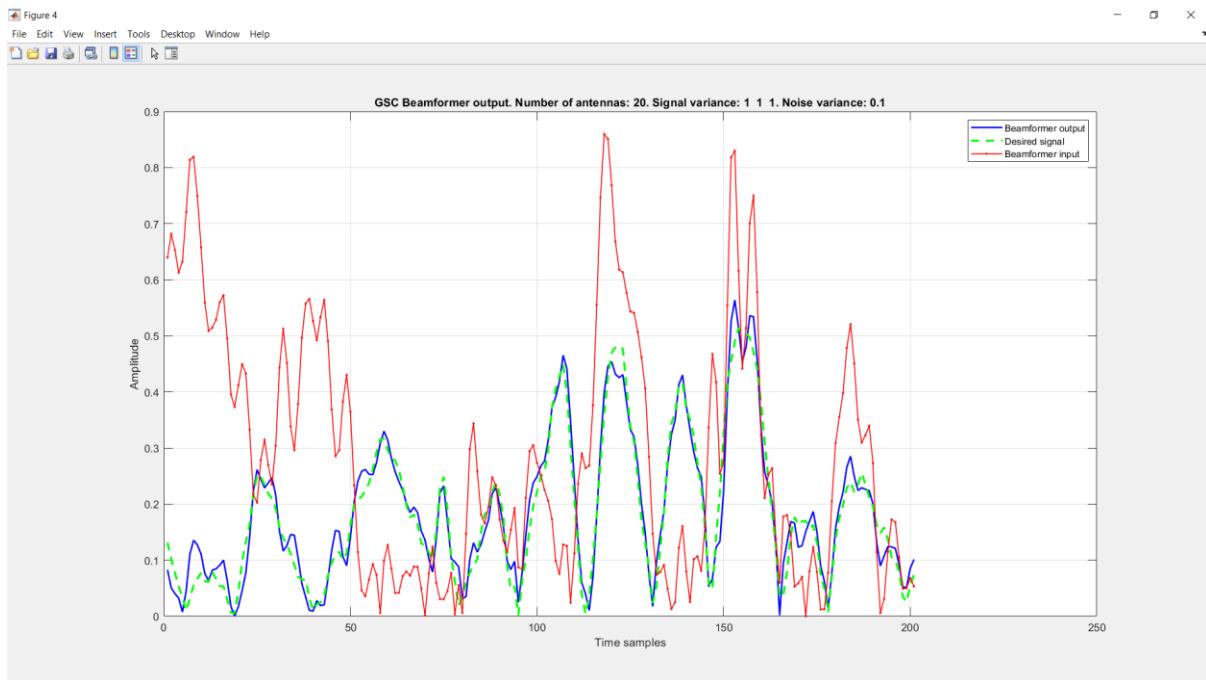
c) Đồ thị tuyến tính:



Hình 17. Đồ thị tần số của giải thuật GSC.

Nhận xét: Tương tự với giải thuật LCMV, tín hiệu mong muốn tương ứng với góc tới -60° được tối ưu, với hướng búp sóng chính cực đại, đồng thời can nhiễu tại góc tới -50° và -40° được triệt tiêu là các điểm null (điểm không), chứng tỏ giải thuật cho khả năng triệt can nhiễu và tối ưu tín hiệu mong muốn thu được khá tốt.

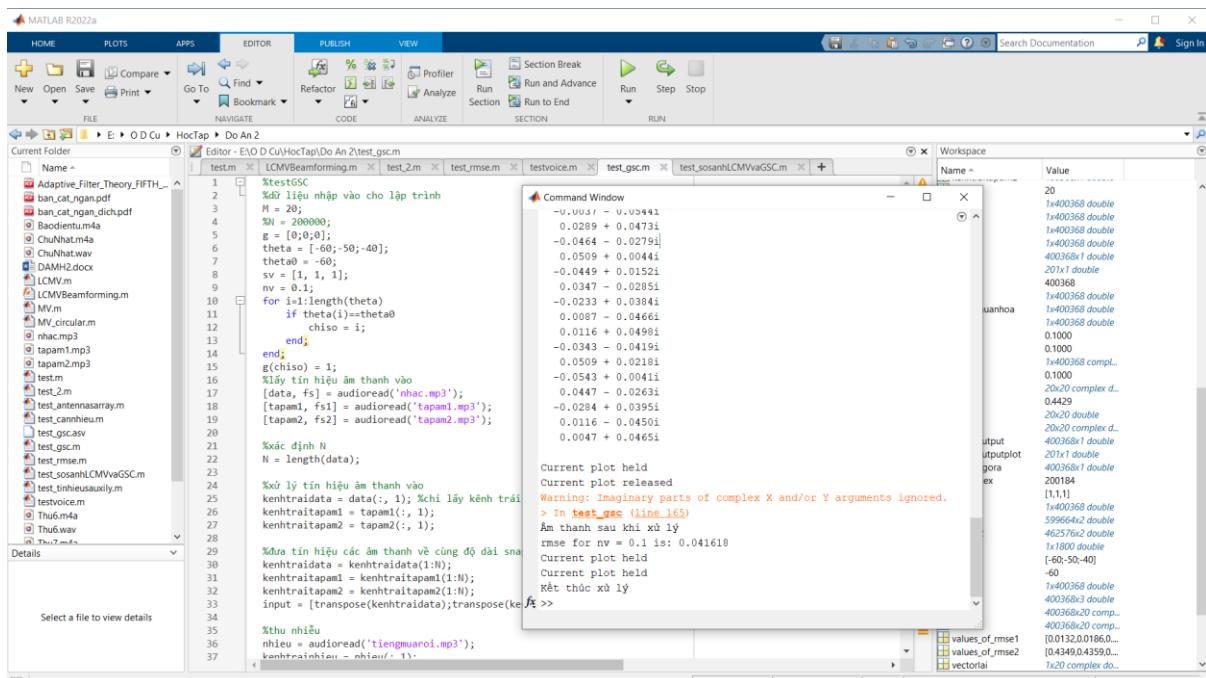
- d) So sánh giữa tín hiệu tại ngõ vào, tín hiệu mong muốn và tín hiệu tại ngõ ra bộ lọc:



Hình 18. Đồ thị so sánh tín hiệu trộn tại ngõ vào, tín hiệu mong muốn và tín hiệu sau khi xử lý tại ngõ ra.

Nhận xét: Tương tự giải thuật LCMV, đồ thị biểu diễn tín hiệu tại ngõ vào (màu đỏ), tín hiệu mong muốn (màu xanh) và tín hiệu tại ngõ ra (màu lục). Có thể thấy 2 đường màu xanh và màu lục rất tương đồng nhau với sai số rất nhỏ, cho thấy tín hiệu tại ngõ ra tương đồng với tín hiệu mong muốn.

e) Root Mean-square Error:



Hình 19. RMSE của giải thuật.

$RMSE = 0.041618$.

Nhận xét: $RMSE$ nhỏ cho thấy tín hiệu tại ngõ ra sau khi qua xử lý tương đồng với tín hiệu mong muốn.

II.3. Nhận xét chung về hai giải thuật:

Với các thông số ngõ vào tối ưu ($M = 20, nv = 0.1$), cả hai giải thuật đều rất hiệu quả trong việc xử lý nhiễu và can nhiễu (quan sát đồ thị đồ thị tuyến tính), tín hiệu tại ngõ ra của bộ lọc tương đồng với tín hiệu mong muốn thu được (quan sát đồ thị so sánh tín hiệu tại ngõ vào, tín hiệu mong muốn và tín hiệu tại ngõ ra; $RMSE$ cả 2 giải thuật đều rất nhỏ).

CHƯƠNG III: KẾT QUẢ TỔNG QUÁT CỦA HAI GIẢI THUẬT

Cả hai giải thuật đều cho ra kết quả tương đối tốt dù khoảng cách góc của các tín hiệu đến khá là gần nhau. Do đó, để đánh giá tổng quát được từng giải thuật cũng như có sự so sánh chính xác về hiệu quả của 2 giải thuật, dựa trên các thông số của bài toán cũ, đồ án đã nghiên cứu thêm các trường hợp của từng giải thuật: thay đổi số an-ten M, giảm khoảng cách góc giữa các tín hiệu, thay đổi phương sai nhiễu.

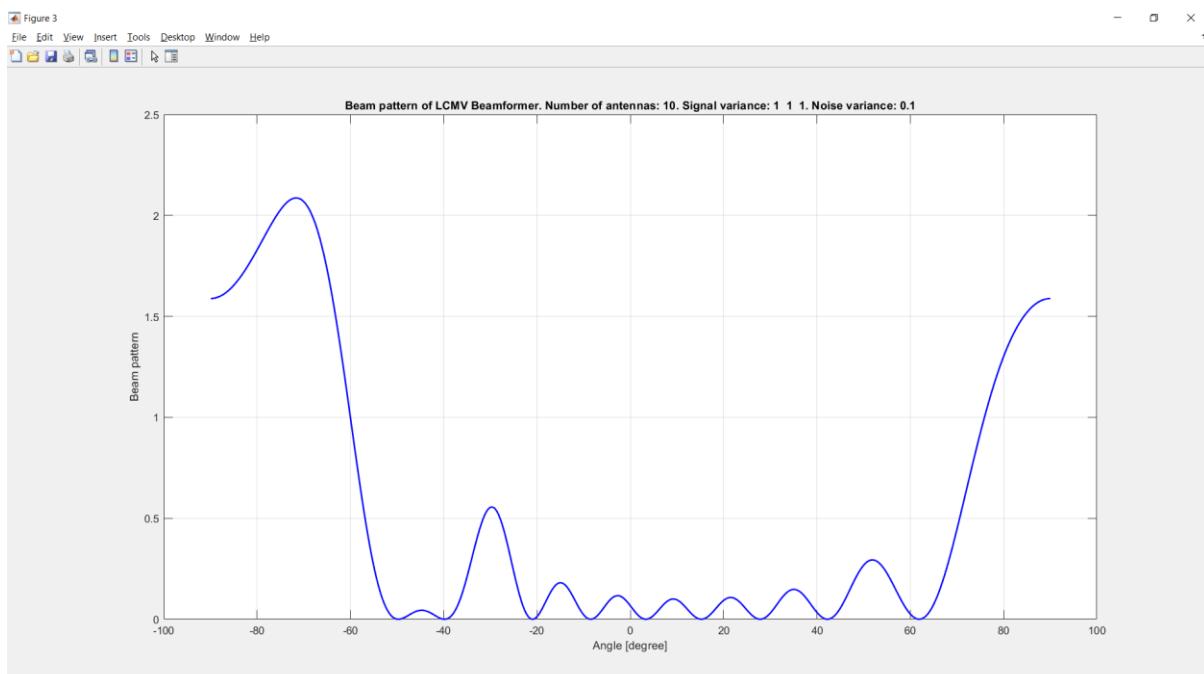
III.1. Tối thiểu phương sai có ràng buộc tuyến tính (LCMV):

III.1.1. Thay đổi số phần tử an-ten M:

Để thuận tiện cho việc quan sát sự hiệu quả của giải thuật, ta cần chú ý vào tham số Root Mean-square Error (RMSE) và quan sát đồ thị tuyến tính cùng đồ thị so sánh tín hiệu mong muốn và ngõ ra của các trường hợp.

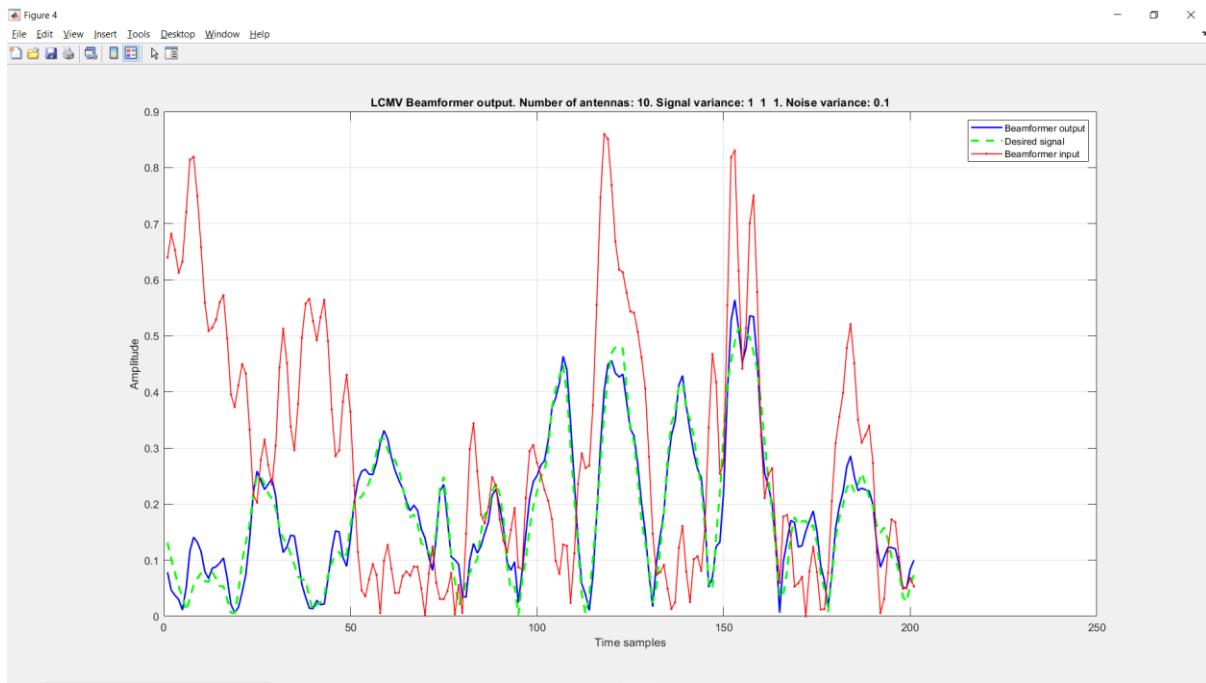
Thay đổi số phần tử $M = 10, 15, 17, 18, 20$ rồi quan sát kết quả:

- ❖ Đồ thị tuyến tính, đồ thị so sánh giữa các tín hiệu và RMSE tương ứng:
a) $M = 10$:



Hình 20. Đồ thị tuyến tính của giải thuật với $M = 10$.

Nhận xét: Với số lượng phần tử an-ten chưa đủ lớn, giải thuật chưa thể tối ưu tín hiệu mong muốn cần thu được tại ngõ ra, búp sóng chính không nằm ở góc của hướng tới tín hiệu mong muốn.

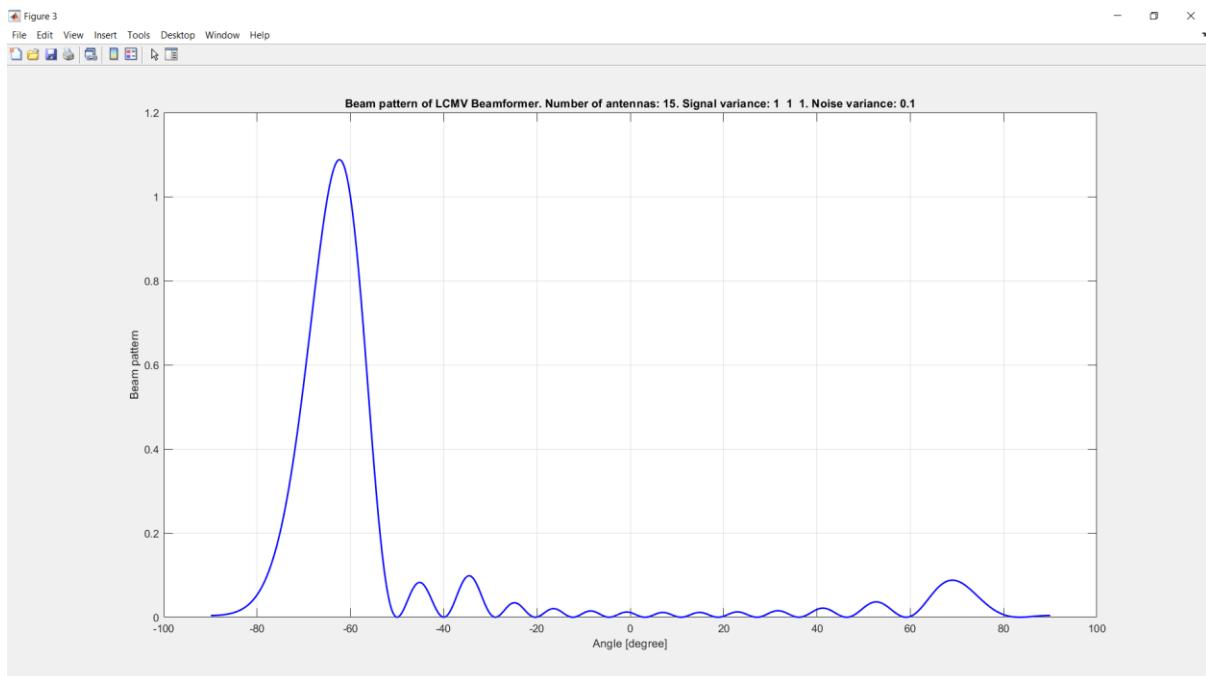


Hình 21. Đồ thị so sánh tín hiệu trộn tại ngõ vào, tín hiệu mong muốn và tín hiệu sau khi xử lý tại ngõ ra với $M = 10$.

$RMSE = 0.043519$.

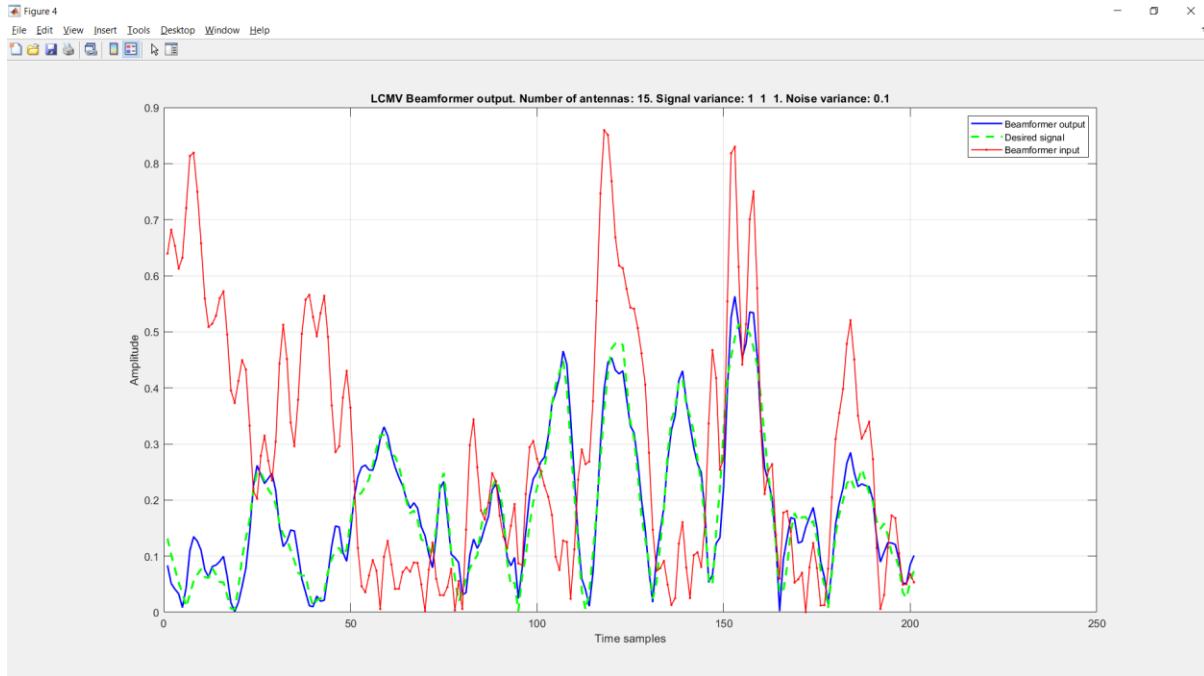
Nhận xét: Đồ thị vẫn cho thấy kết quả là tín hiệu mong muốn và tín hiệu sau khi xử lý tại ngõ ra khá tương đồng nhau. Đồng thời, $RMSE$ nhỏ cho thấy tín hiệu tại ngõ ra sau khi qua xử lý cũng tương đồng với tín hiệu mong muốn.

b) $M = 15$:



Hình 22. Đồ thị tuyen tính của giải thuật LCMV với $M = 15$.

Nhân xét: Với số phần tử an-ten $M = 15$ là đủ lớn để giải thuật cho kết quả tối ưu tốt hơn, khi mà góc của búp sóng chính gần với góc hướng tới tín hiệu mong muốn.

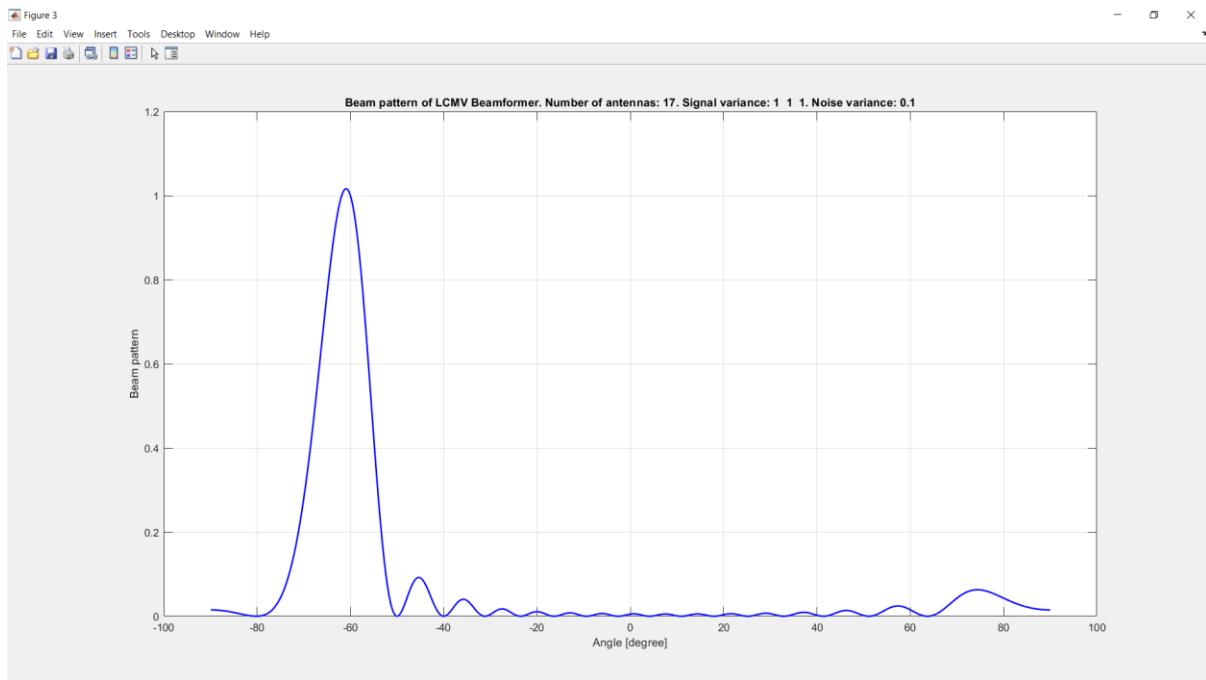


Hình 23. Đồ thị so sánh tín hiệu trộn tại ngõ vào, tín hiệu mong muốn và tín hiệu sau khi xử lý tại ngõ ra với $M = 15$.

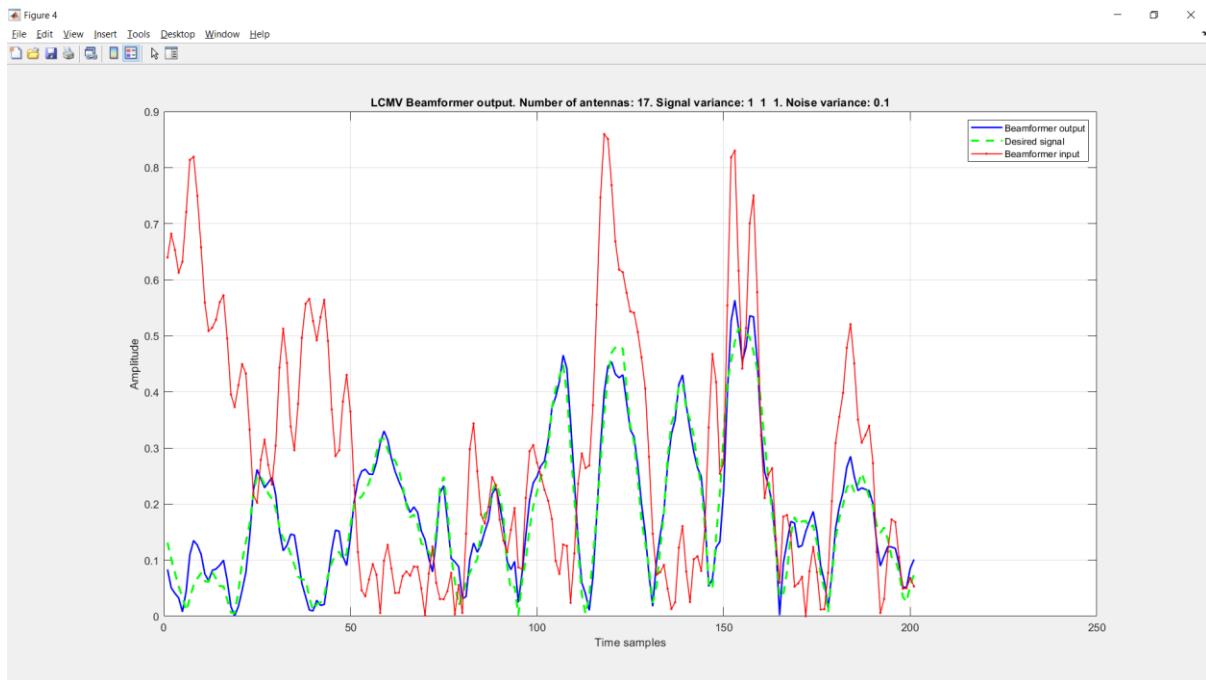
$RMSE = 0.04155$.

Nhân xét: Đồ thị và RMSE cũng cho thấy kết quả là tín hiệu mong muốn và tín hiệu sau khi xử lý tại ngõ ra khá tương đồng nhau. RMSE cũng nhỏ hơn khi tăng số phần tử an-ten.

c) $M = 17$:



Hình 24. Đồ thị tần số của giải thuật LCMV với $M = 17$.

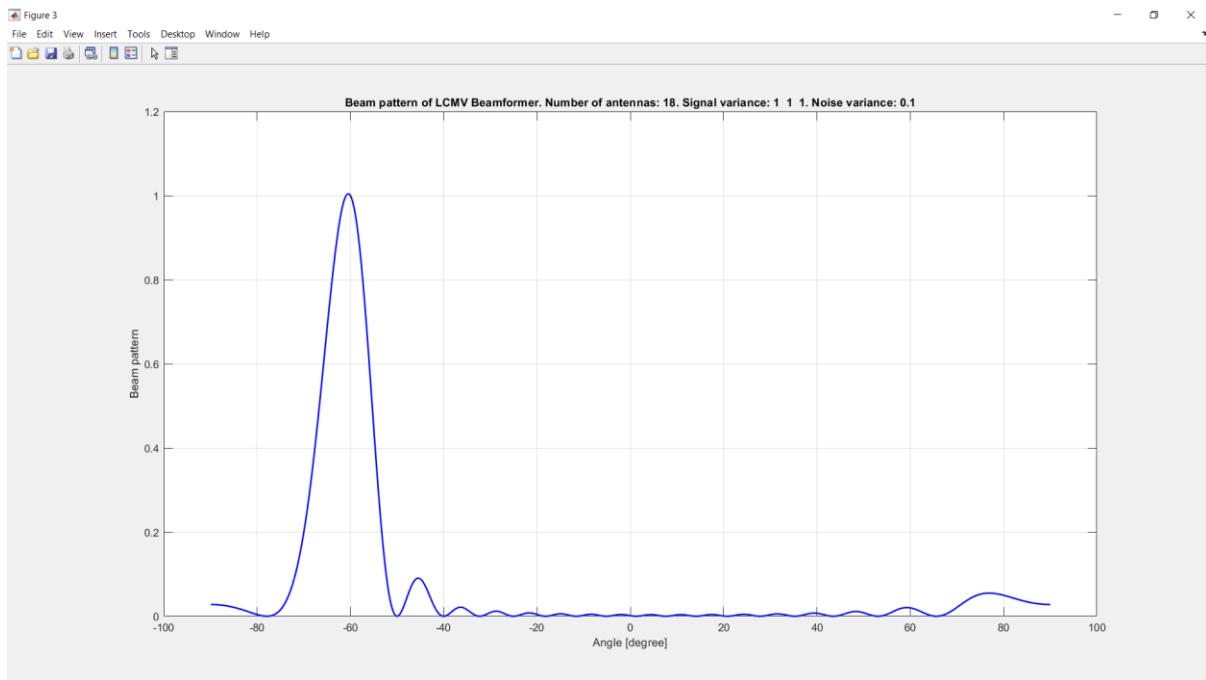


Hình 25. Đồ thị so sánh tín hiệu trộn tại ngõ vào, tín hiệu mong muốn và tín hiệu sau khi xử lý tại ngõ ra với $M = 17$.

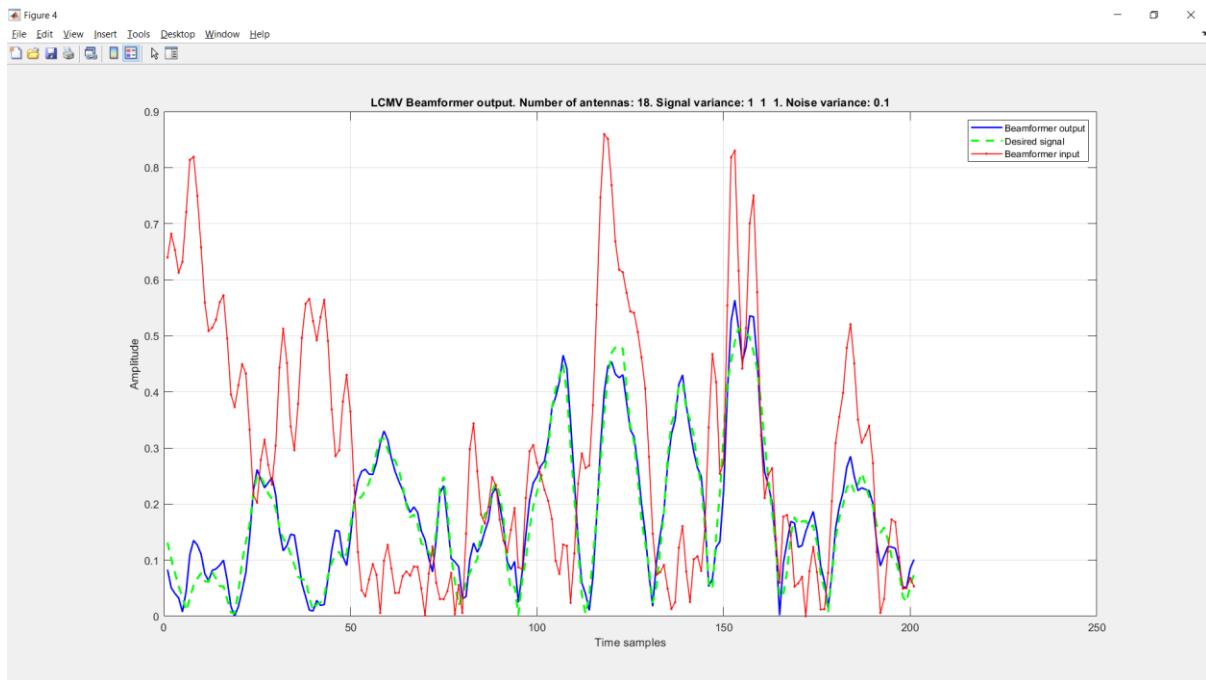
$RMSE = 0.041571$.

Nhận xét: Kết quả tương tự như với $M = 15$, tín hiệu tại ngõ ra càng tương đồng với tín hiệu mong muốn hơn, góc của búp sóng chính càng gần với góc của hướng tới tín hiệu mong muốn hơn.

d) $M = 18$:



Hình 26. Đồ thị tần số tinh của giải thuật với $M = 18$.

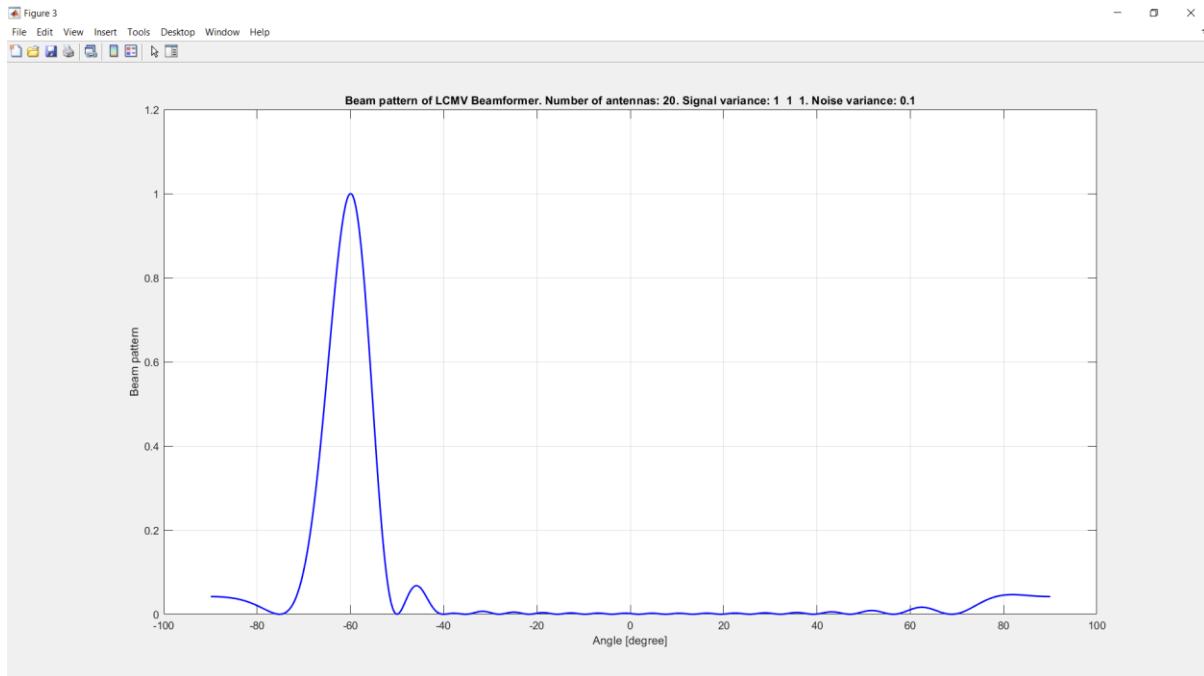


Hình 27. Đồ thị so sánh tín hiệu trộn tại ngõ vào, tín hiệu mong muốn và tín hiệu sau khi xử lý tại ngõ ra với $M = 18$.

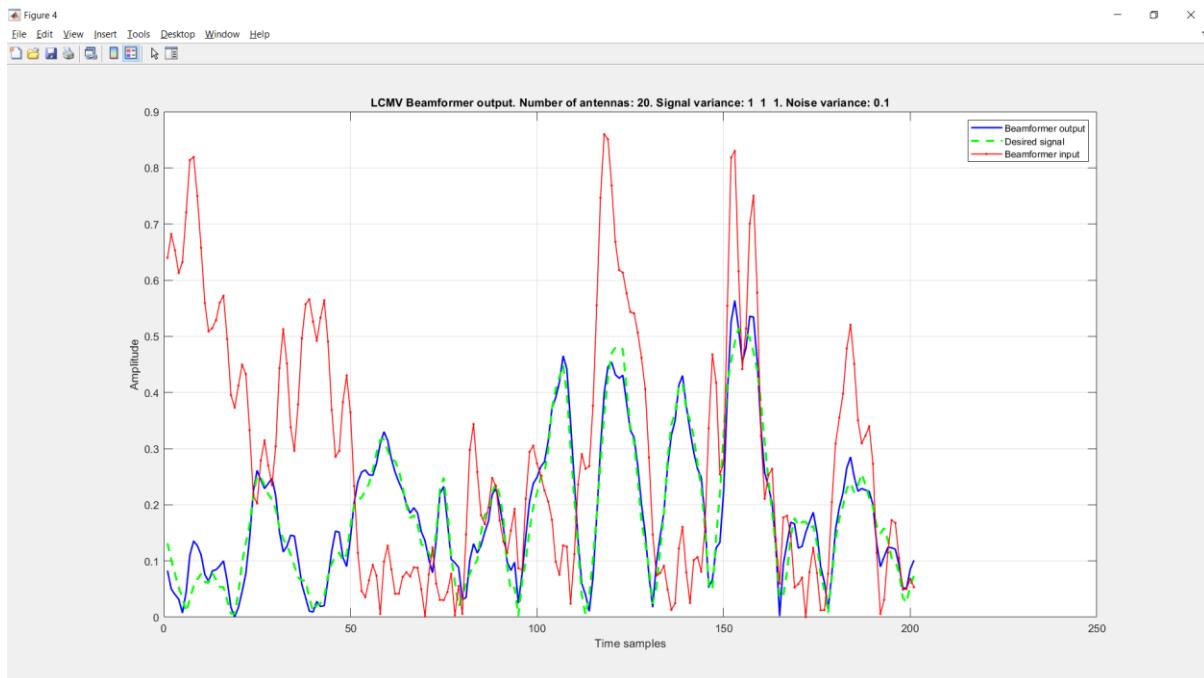
$RMSE = 0.041595$.

Nhận xét: Kết quả tương tự như với $M = 17$, tín hiệu tại ngõ ra càng tương đồng với tín hiệu mong muốn hơn. Đặc biệt, góc của búp sóng chính ở rất gần vị trí góc của hướng tới tín hiệu mong muốn và các điểm null (điểm không) gần như trùng với các vị trí góc của can nhiễu.

e) $M = 20$:



Hình 28. Đồ thị tần số của giải thuật với $M = 20$.



Hình 29. Đồ thị so sánh tín hiệu trộn tại ngõ vào, tín hiệu mong muốn và tín hiệu sau khi xử lý tại ngõ ra với $M = 20$.

$RMSE = 0.041633$.

Nhận xét: Kết quả tốt nhất với $M = 20$, tín hiệu tại ngõ ra tương đồng với tín hiệu mong muốn hơn rất nhiều so với các kết quả trước. Búp sóng chính ở chính xác góc của tín hiệu mong muốn, đồng thời tại các góc của hướng tới can nhiễu là các điểm null

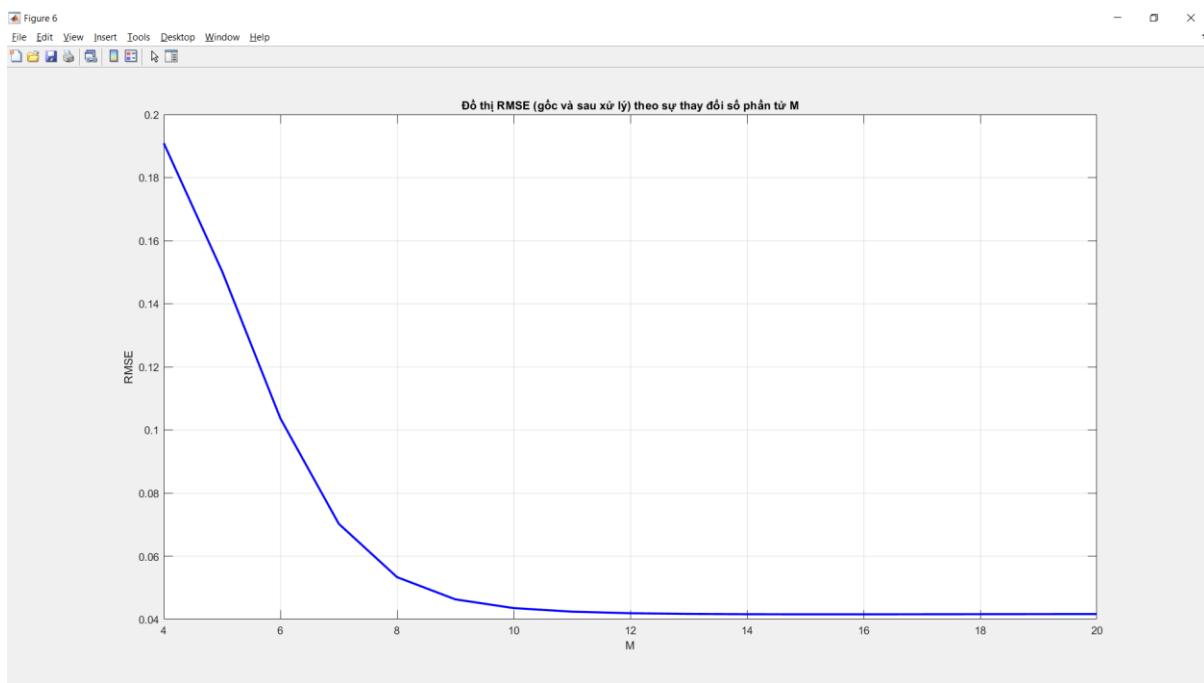
(điểm không), chứng tỏ khả năng triệt can nhiễu và tối ưu tín hiệu mong muốn của giải thuật với $M = 20$ là rất tốt.

f) Nhận xét chung về giải thuật:

Dựa vào sự thay đổi ở góc của búp sóng chính ở đồ thị tuyến tính, có thể thấy với số lượng phần tử M càng tăng thì góc của búp sóng chính càng gần với góc của hướng tới tín hiệu mong muốn hơn, và ở số phần tử $M = 20$ thì giải thuật đạt hiệu quả tốt nhất (đúng với hướng tới mong muốn là ở góc -60°).

❖ Sự thay đổi RMSE theo sự thay đổi của số phần tử an-ten M :

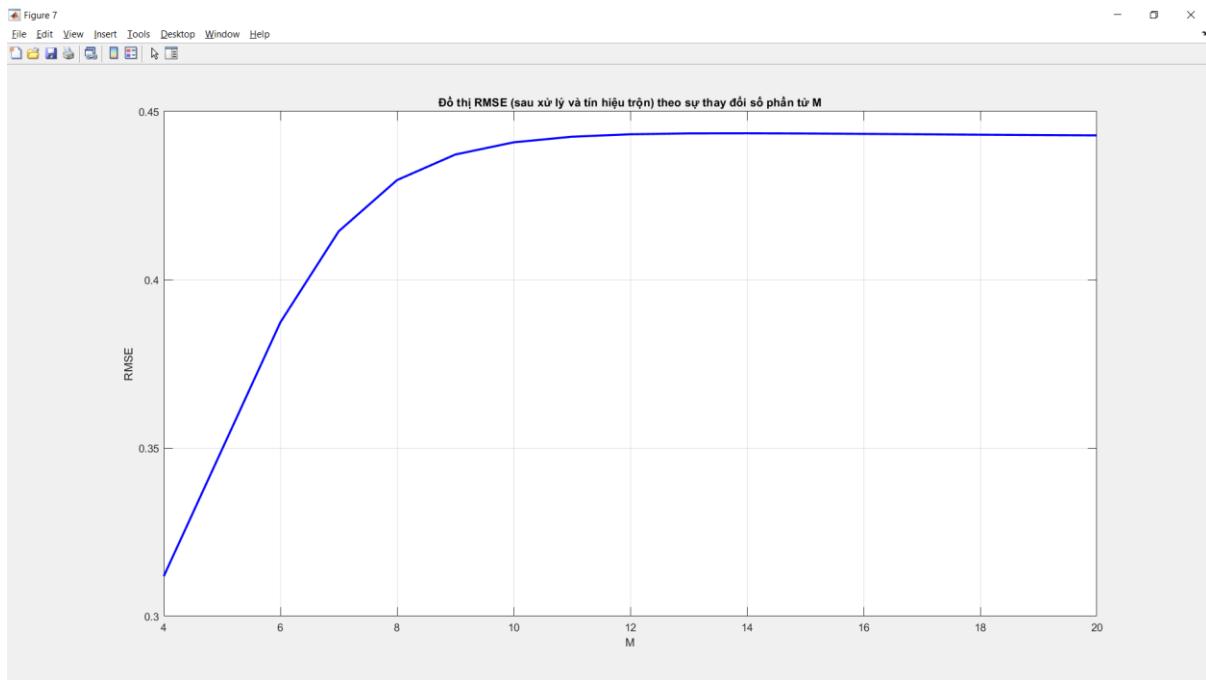
a) Giữa tín hiệu gốc và tín hiệu sau khi qua xử lý:



Hình 30. RMSE giữa tín hiệu gốc và tín hiệu sau khi xử lý theo sự thay đổi M .

Nhận xét: Càng tăng số phần tử M thì RMSE càng nhỏ dần, nghĩa là tín hiệu tại ngõ ra càng tương đồng với tín hiệu mong muốn. Đặc biệt, khi số phần tử M đủ lớn ($M = 15$) thì RMSE hầu như không đổi, cho thấy giải thuật đạt tối ưu với số phần tử M đủ lớn đó.

b) Giữa tín hiệu sau khi qua xử lý và tín hiệu trộn tại ngõ vào bộ lọc:



Hình 31. RMSE giữa tín hiệu sau khi xử lý và tín hiệu trộn tại ngõ vào theo sự thay đổi M .

Nhân xét: Càng tăng số phần tử M thì RMSE càng lớn dần, nghĩa là tín hiệu tại ngõ ra càng khác biệt với tín hiệu trộn, kết hợp với ý nghĩa của đồ thị trên, có thể thấy tín hiệu được xử lý tốt, tách biệt với tín hiệu trộn và càng tiến đến sự tương đồng với tín hiệu mong muốn. Đặc biệt, khi số phần tử M đủ lớn ($M = 15$) thì RMSE hầu như không đổi, cho thấy giải thuật đạt tối ưu với số phần tử M đủ lớn đó.

c) Nhận xét chung:

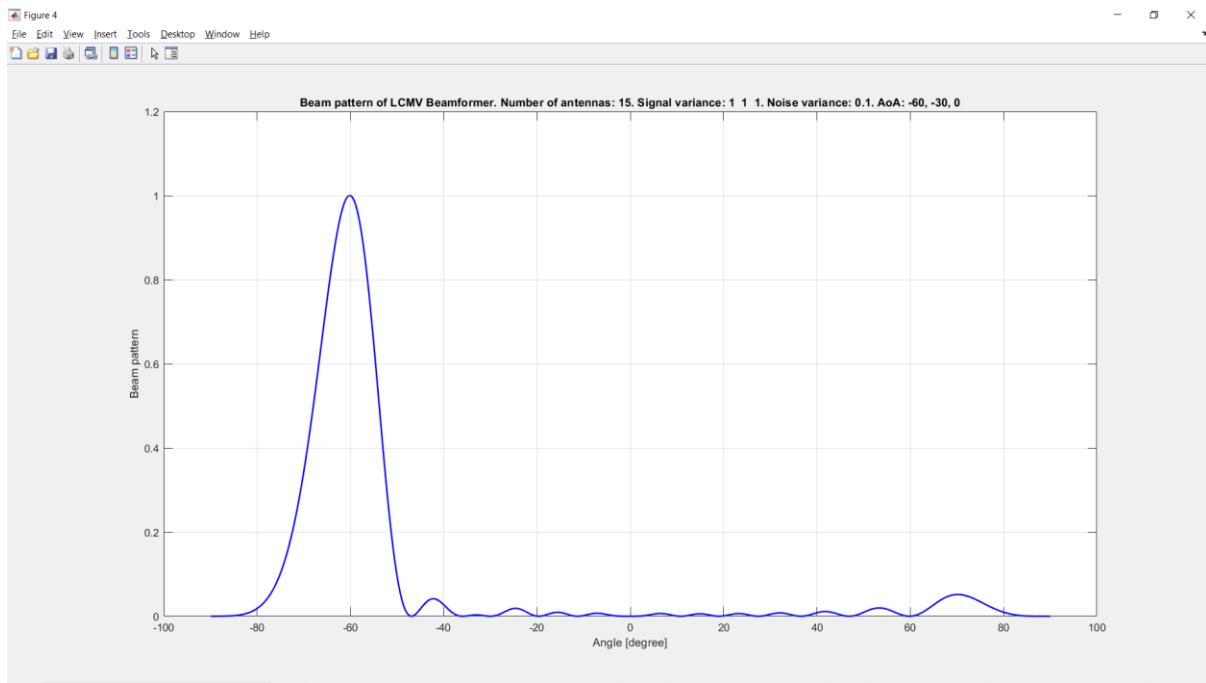
Với số lượng phần tử an-ten M càng tăng, giải thuật càng tối ưu cho việc loại bỏ nhiễu và can nhiễu, tín hiệu tại ngõ ra càng giống với tín hiệu mong muốn thu được.

III.1.2. Giảm khoảng cách góc giữa các tín hiệu mong muốn và can nhiễu:

Để thuận tiện cho việc quan sát sự hiệu quả của giải thuật, ta cần chú ý vào tham số Root Mean-square Error (RMSE) và quan sát đồ thị tuyến tính cùng đồ thị so sánh tín hiệu mong muốn và ngõ ra của các trường hợp.

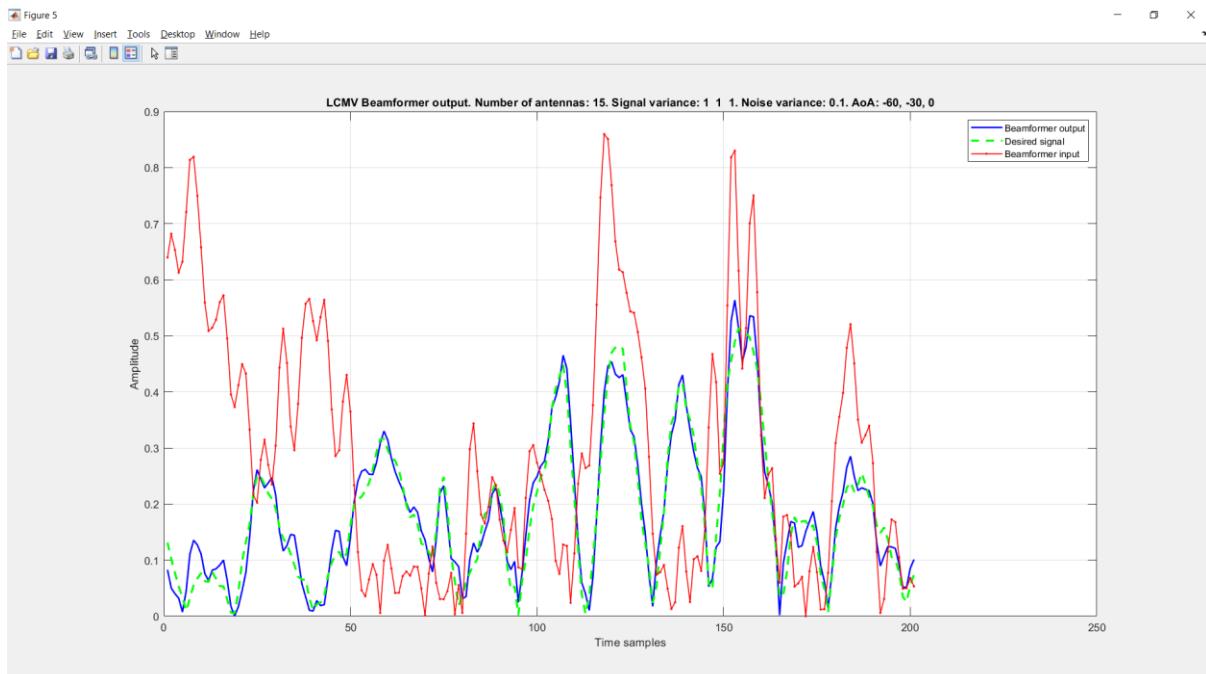
Thay đổi góc của các hướng tới $[\varphi_0, \varphi_1, \varphi_2]$ lần lượt là $[-60^\circ, -30^\circ, 0^\circ]$; $[-60^\circ, -35^\circ, -10^\circ]$; $[-60^\circ, -40^\circ, -20^\circ]$; $[-60^\circ, -45^\circ, -30^\circ]$; $[-60^\circ, -50^\circ, -40^\circ]$ rồi quan sát kết quả (sử dụng số phần tử $M = 15$ để dễ dàng quan sát sự khác biệt):

- ❖ Đồ thị tuyến tính, đồ thị so sánh giữa các tín hiệu và RMSE tương ứng:
- $[\varphi_0, \varphi_1, \varphi_2] = [-60^\circ, -30^\circ, 0^\circ]$:



Hình 32. Đồ thị tần số của $[\varphi_0, \varphi_1, \varphi_2] = [-60^\circ, -30^\circ, 0^\circ]$.

Nhận xét: Với khoảng cách góc giữa tín hiệu mong muốn và can nhiễu lớn như vậy, giải thuật có thể xử lý dễ dàng. Tại góc của hướng tới tín hiệu mong muốn là búp sóng chính, đồng thời tại góc của các hướng tới can nhiễu là các điểm null (điểm không), cho thấy giải thuật xử lý tín hiệu tốt với trường hợp này.

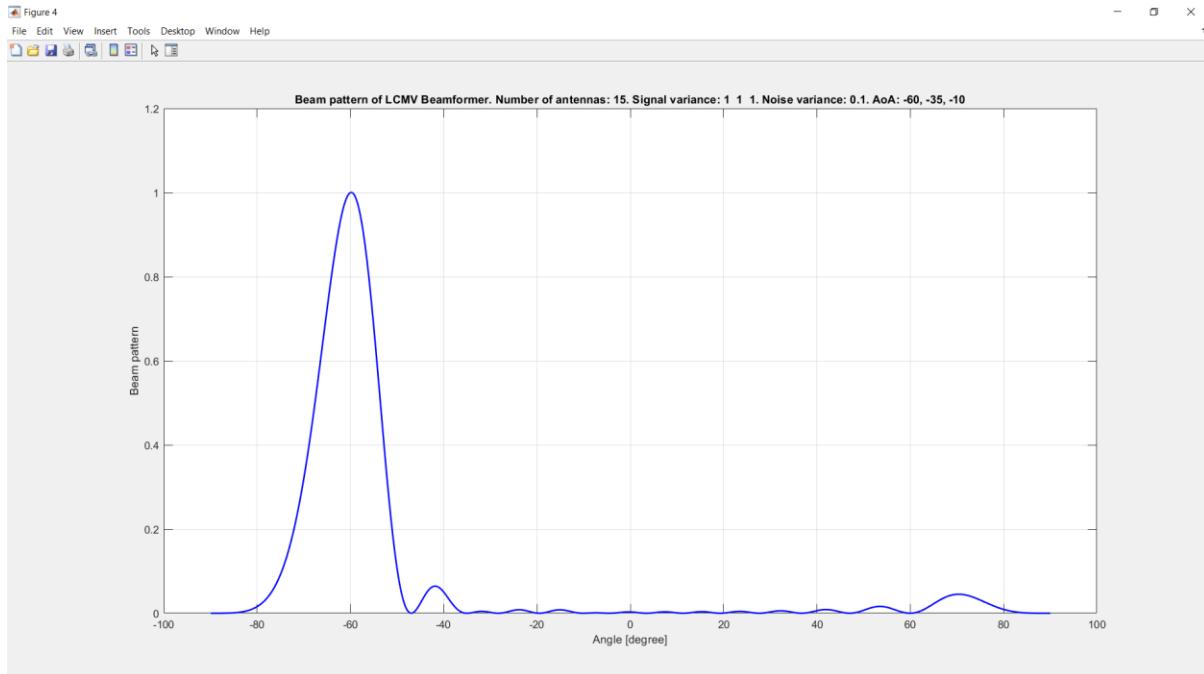


Hình 33. Đồ thị so sánh tín hiệu trộn tại ngõ vào, tín hiệu mong muốn và tín hiệu sau khi xử lý tại ngõ ra với $[\varphi_0, \varphi_1, \varphi_2] = [-60^\circ, -30^\circ, 0^\circ]$.

RMSE = 0.041633.

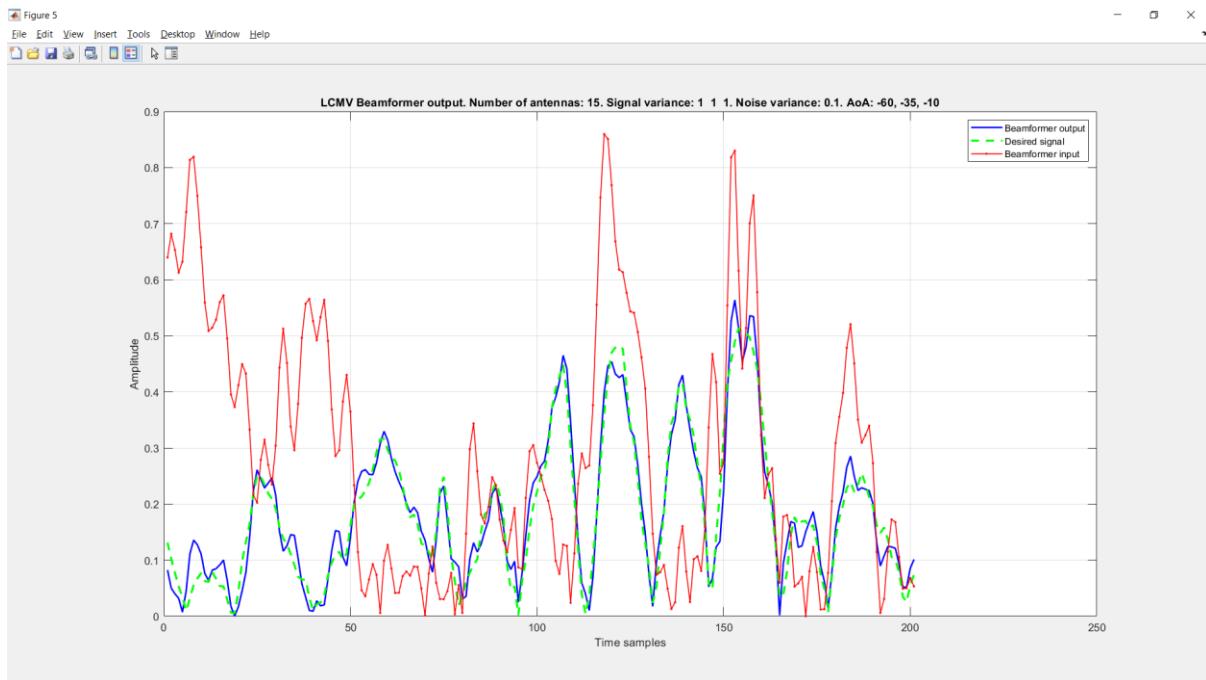
Nhân xét: Với khoảng cách góc giữa hướng tới của tín hiệu mong muốn và can nhiễu ở trường hợp này, tín hiệu tại ngõ ra (màu lục) rất tương đồng với tín hiệu mong muốn (màu xanh) và khác biệt rất nhiều với tín hiệu trộn tại ngõ vào (màu đỏ). RMSE cũng rất nhỏ cho thấy sự tương đồng giữa tín hiệu tại ngõ ra sau khi qua xử lý và tín hiệu mong muốn.

b) $[\varphi_0, \varphi_1, \varphi_2] = [-60^\circ, -35^\circ, -10^\circ]$:



Hình 34. Đồ thị tần số của $[\varphi_0, \varphi_1, \varphi_2] = [-60^\circ, -35^\circ, -10^\circ]$.

Nhân xét: Khi bắt đầu giảm khoảng cách góc giữa tín hiệu mong muốn và can nhiễu, kết quả giải thuật đã có chút thay đổi. Búp sóng chính bây giờ nằm lệch so với góc của hướng tới mong muốn.

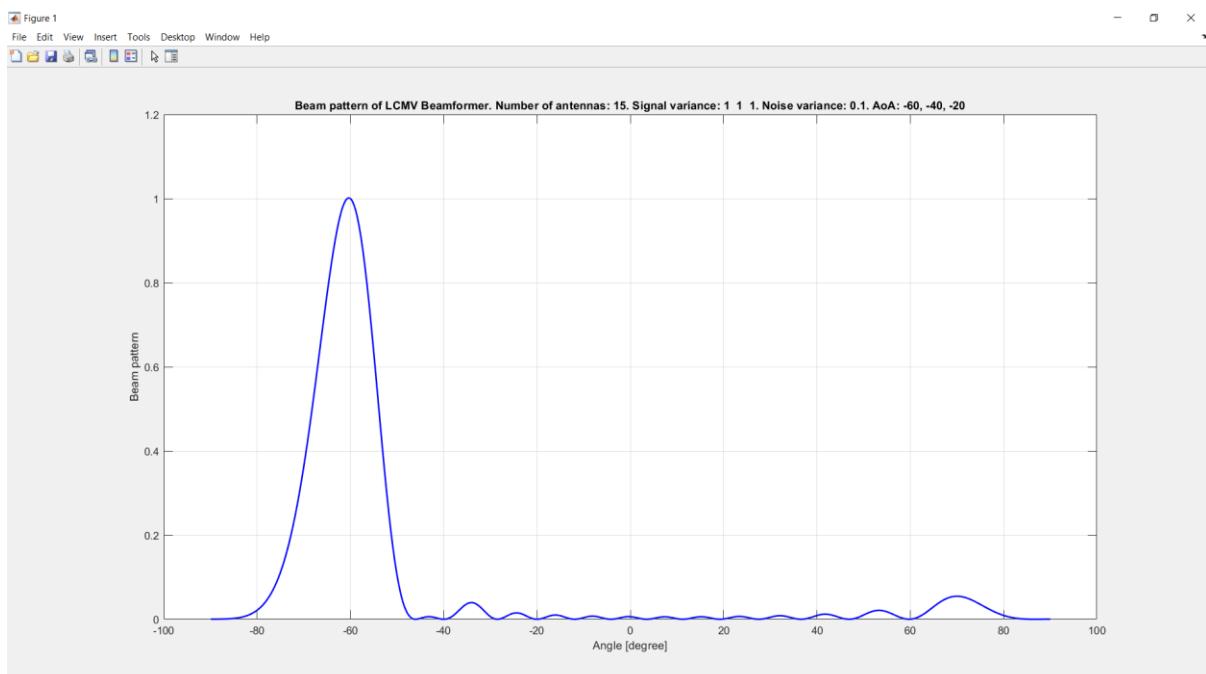


Hình 35. Đồ thị so sánh tín hiệu trộn tại ngõ vào, tín hiệu mong muốn và tín hiệu sau khi xử lý tại ngõ ra với $[\varphi_0, \varphi_1, \varphi_2] = [-60^\circ, -35^\circ, -10^\circ]$.

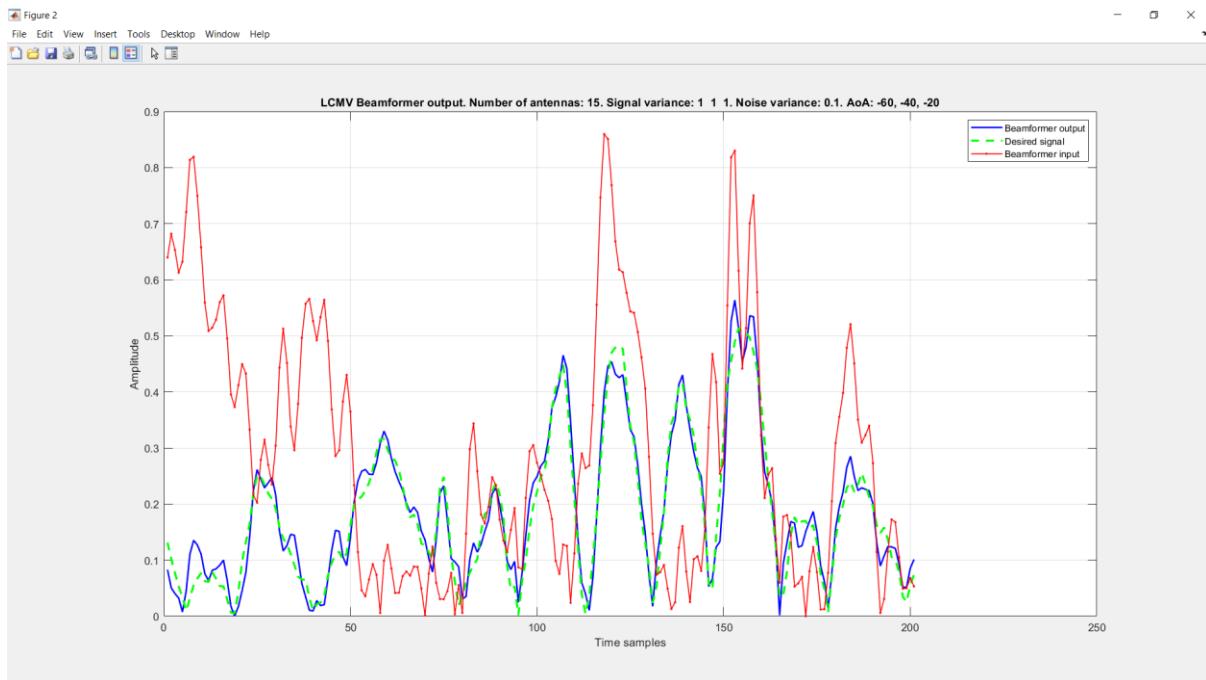
$RMSE = 0.041657$.

Nhân xét: Sự sai lệch bắt đầu tăng lên giữa tín hiệu tại ngõ ra (màu xanh) và tín hiệu mong muốn (màu lục). Điều này là RMSE cũng tăng lên so với trường hợp trước đó.

c) $[\varphi_0, \varphi_1, \varphi_2] = [-60^\circ, -40^\circ, -20^\circ]$:



Hình 36. Đồ thị tần số của $[\varphi_0, \varphi_1, \varphi_2] = [-60^\circ, -40^\circ, -20^\circ]$.

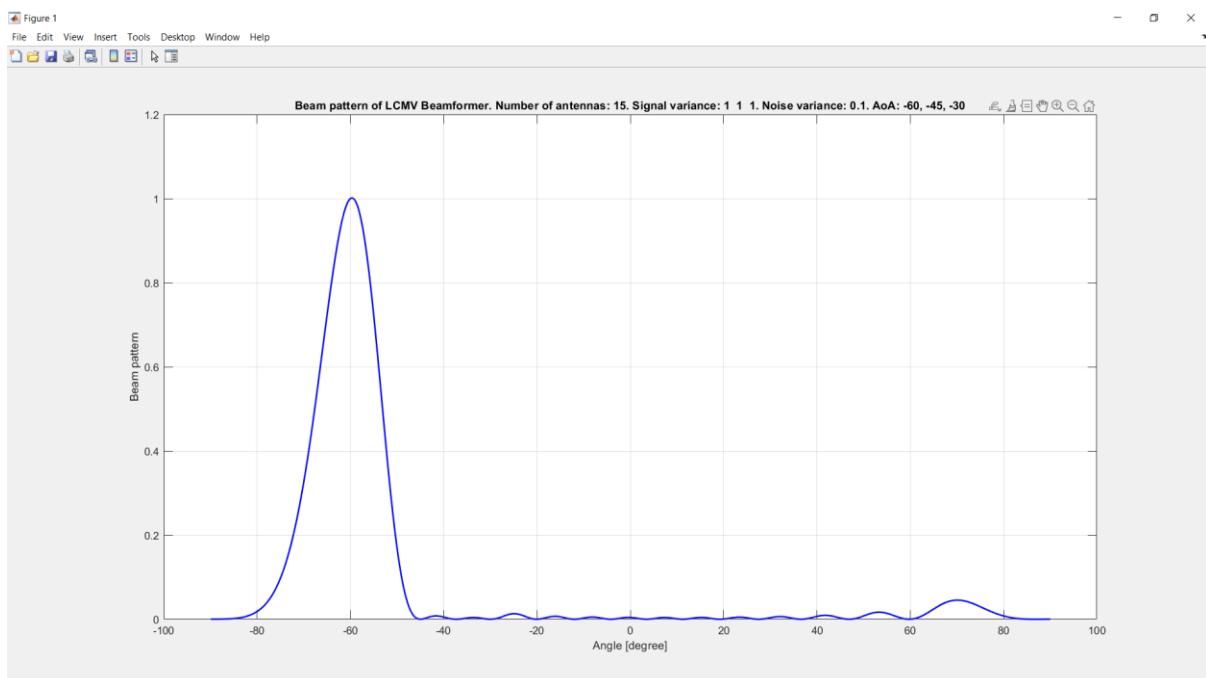


Hình 37. Đồ thị so sánh tín hiệu trộn tại ngõ vào, tín hiệu mong muốn và tín hiệu sau khi xử lý tại ngõ ra với $[\varphi_0, \varphi_1, \varphi_2] = [-60^\circ, -40^\circ, -20^\circ]$.

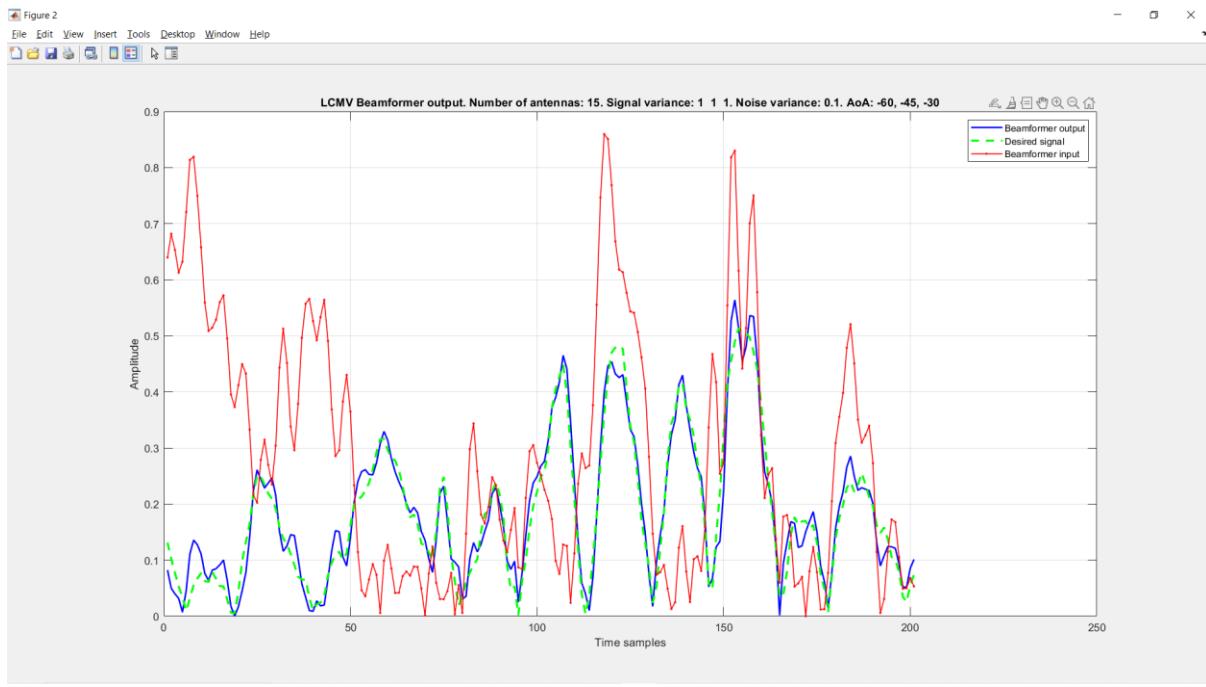
$RMSE = 0.04161$.

Nhận xét: Tương tự như trên, khi càng giảm khoảng cách góc giữa tín hiệu mong muốn và can nhiễu, sự sai lệch càng hiện hữu rõ ràng hơn. Búp sóng chính bây giờ nằm lệch rõ so với góc của hướng tới mong muốn.

d) $[\varphi_0, \varphi_1, \varphi_2] = [-60^\circ, -45^\circ, -30^\circ]$:



Hình 38. Đồ thị tuyen tính của $[\varphi_0, \varphi_1, \varphi_2] = [-60^\circ, -45^\circ, -30^\circ]$.

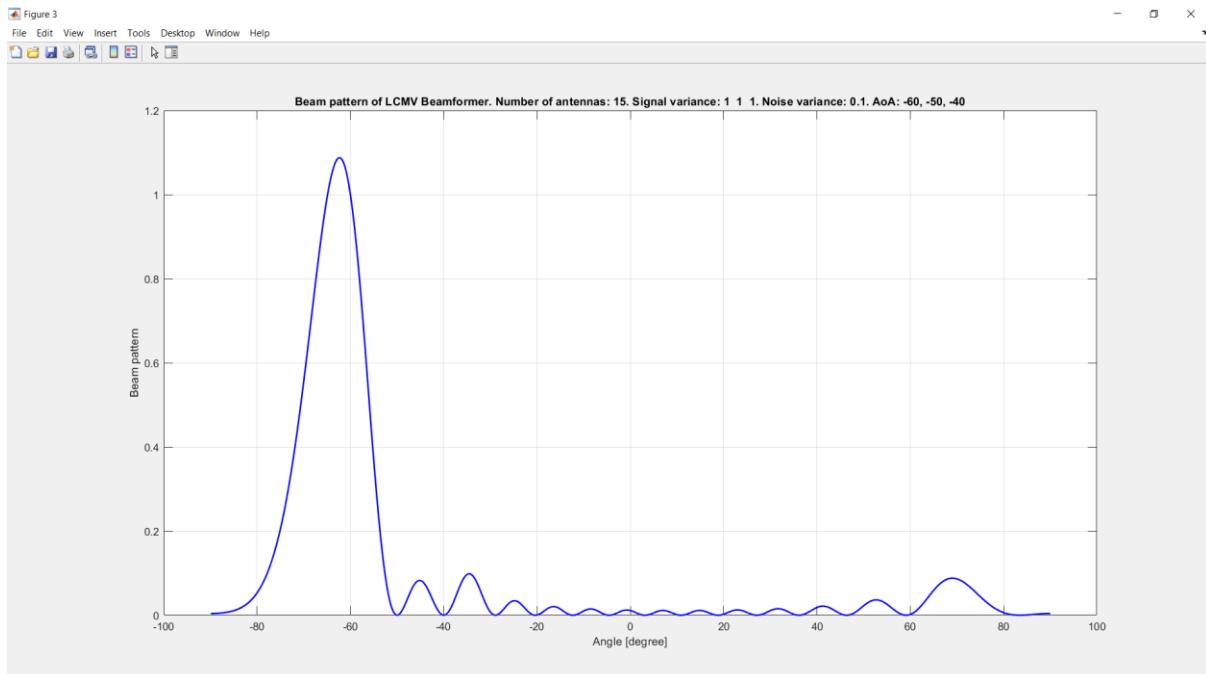


Hình 39. Đồ thị so sánh tín hiệu trộn tại ngõ vào, tín hiệu mong muốn và tín hiệu sau khi xử lý tại ngõ ra với $[\varphi_0, \varphi_1, \varphi_2] = [-60^\circ, -45^\circ, -30^\circ]$.

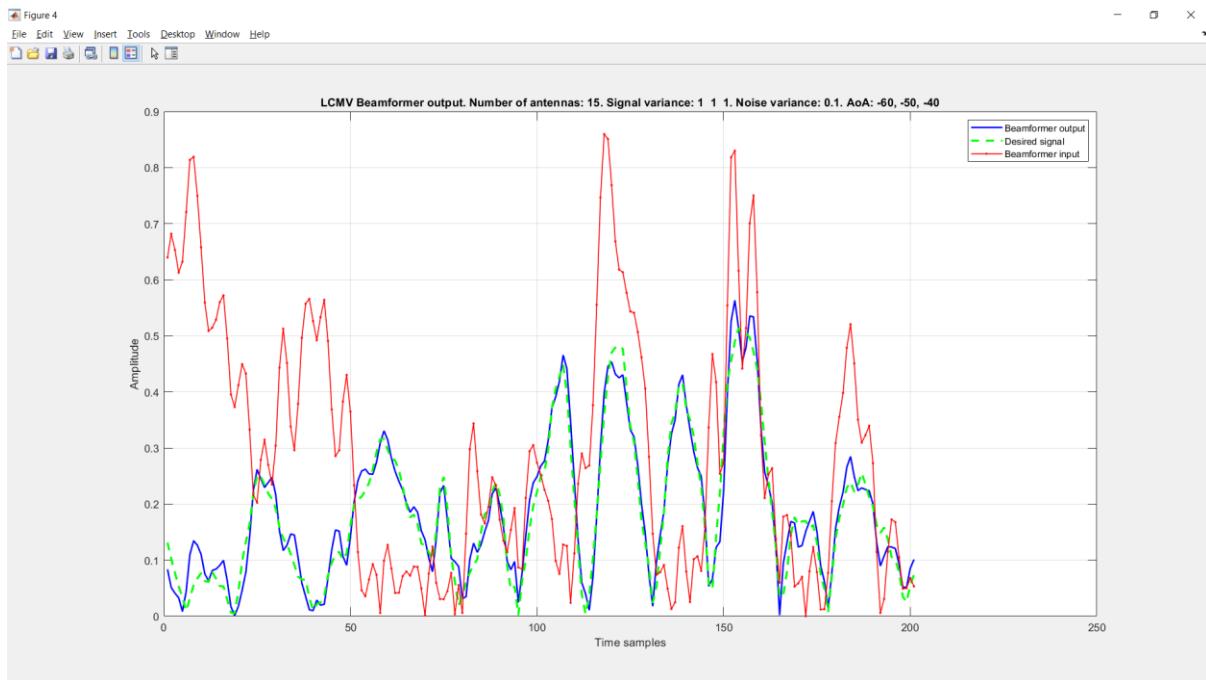
$RMSE = 0.04166$.

Nhận xét: Tương tự như trên, với khoảng cách góc giữa tín hiệu mong muốn và can nhiễu nhỏ dần như vậy, búp sóng chính càng lệch khỏi góc của hướng tới mong muốn, và các điểm null (điểm không) cũng ở các vị trí góc khác góc của hướng can nhiễu.

e) $[\varphi_0, \varphi_1, \varphi_2] = [-60^\circ, -50^\circ, -40^\circ]$:



Hình 40. Đồ thị tuyen tính của $[\varphi_0, \varphi_1, \varphi_2] = [-60^\circ, -50^\circ, -40^\circ]$.



Hình 41. Đồ thị so sánh tín hiệu trộn tại ngõ vào, tín hiệu mong muốn và tín hiệu sau khi xử lý tại ngõ ra với $[\varphi_0, \varphi_1, \varphi_2] = [-60^\circ, -50^\circ, -40^\circ]$.

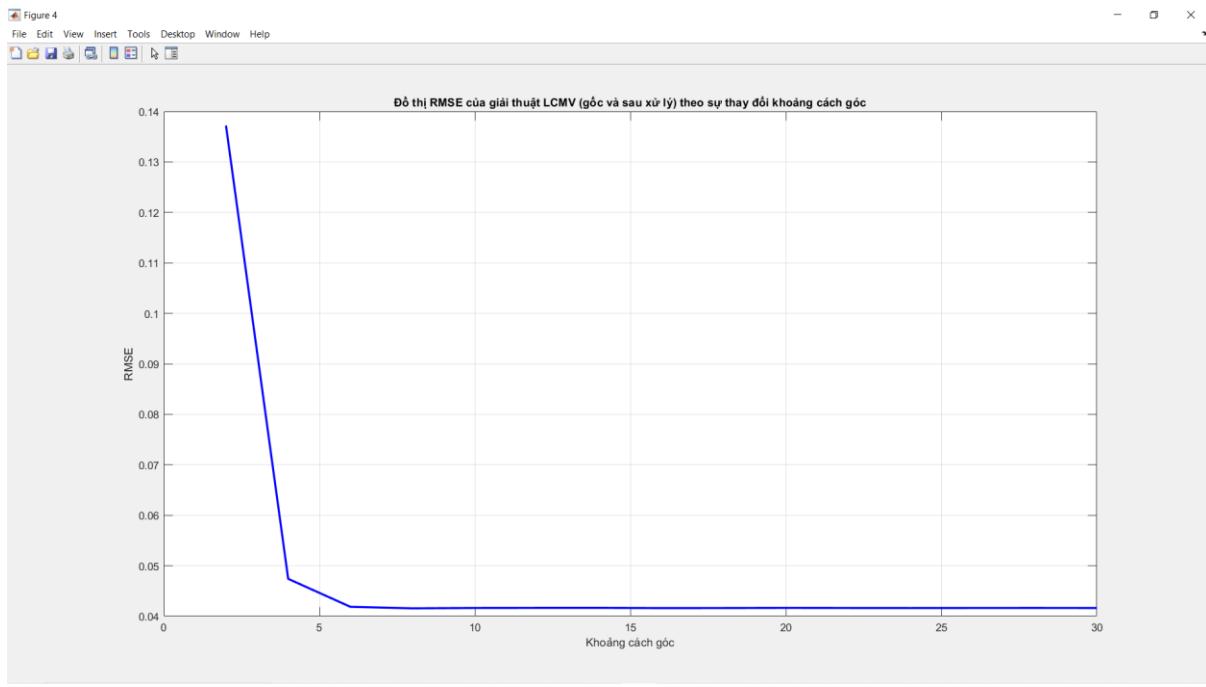
$RMSE = 0.04155$.

Nhận xét: Thể hiện rõ ràng việc giảm khoảng cách góc giữa tín hiệu mong muốn và can nhiễu ảnh hưởng đến khả năng xử lý tín hiệu của giải thuật. Búp sóng chính bây giờ nằm lệch so với góc của hướng tới mong muốn một khoảng tương đối lớn.

f) Nhận xét chung:

Dựa vào sự thay đổi ở góc của búp sóng chính ở đồ thị tuyến tính và búp sóng tại các góc của hướng tới can nhiễu, có thể thấy khoảng cách góc giữa các tín hiệu càng gần thì việc thu tín hiệu mong muốn và triệt can nhiễu càng khó hơn (búp sóng chính không nằm ở góc của hướng tới tín hiệu mong muốn, vẫn có búp sóng tại góc hướng tới can nhiễu).

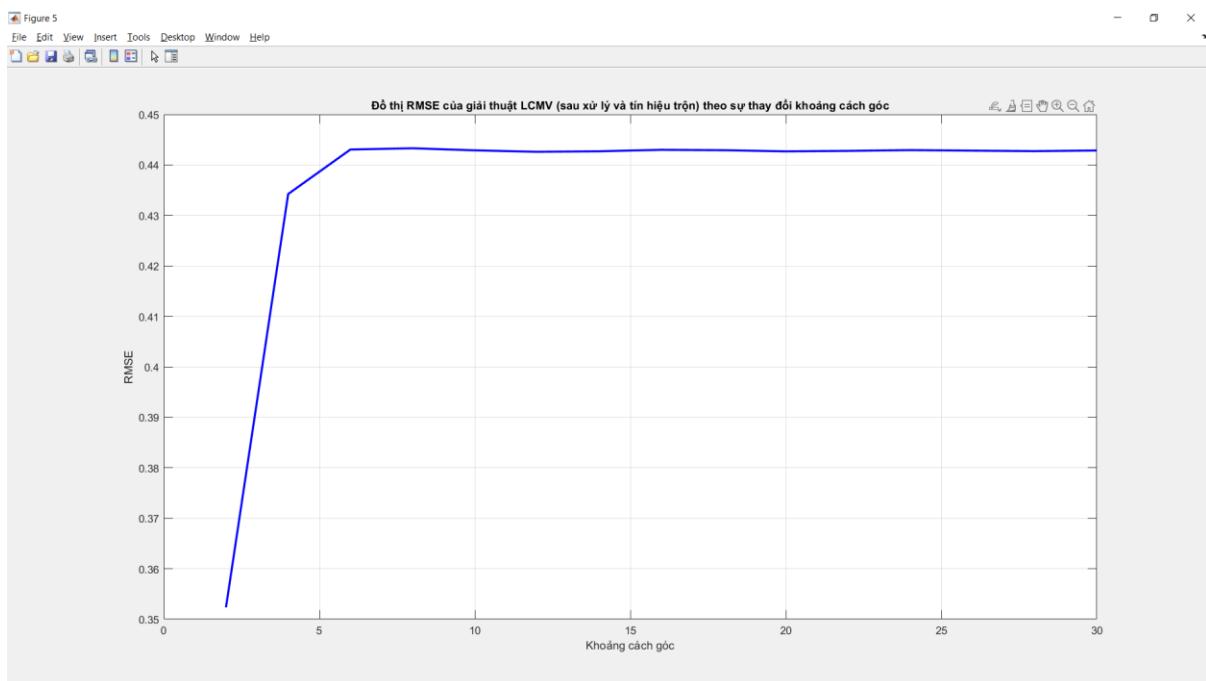
- ❖ Sự thay đổi $RMSE$ theo sự thay đổi của khoảng cách góc giữa hướng tới tín hiệu mong muốn và can nhiễu:
 - Giữa tín hiệu gốc và tín hiệu sau khi qua xử lý:



Hình 42. RMSE giữa tín hiệu gốc và tín hiệu sau khi xử lý theo sự thay đổi khoảng cách góc.

Nhân xét: Khi bắt đầu giảm khoảng cách góc giữa tín hiệu mong muốn và can nhiễu, RMSE cũng tăng dần lên, thể hiện sự sai lệch giữa tín hiệu tại ngõ ra và tín hiệu mong muốn. Đặc biệt, với khoảng cách góc đủ lớn thì sự sai lệch không thay đổi nhiều, tuy nhiên, khi can nhiễu và tín hiệu mong muốn càng gần nhau (dưới 6°), RMSE tăng lên rất nhanh.

b) Giữa tín hiệu sau khi qua xử lý và tín hiệu trộn tại ngõ vào bộ lọc:



Hình 43. RMSE giữa tín hiệu sau khi xử lý và tín hiệu trộn tại ngõ vào theo sự thay đổi khoảng cách góc.

Nhân xét: Khi bắt đầu giảm khoảng cách góc giữa tín hiệu mong muốn và can nhiễu, sự sai lệch giữa tín hiệu tại ngõ ra và tín hiệu trộn tại ngõ vào ngày càng ít đi. Kết hợp với kết quả ở đồ thị trên, có thể hiểu rằng việc loại bỏ can nhiễu từ tín hiệu tại ngõ vào càng khó.

c) Nhận xét chung:

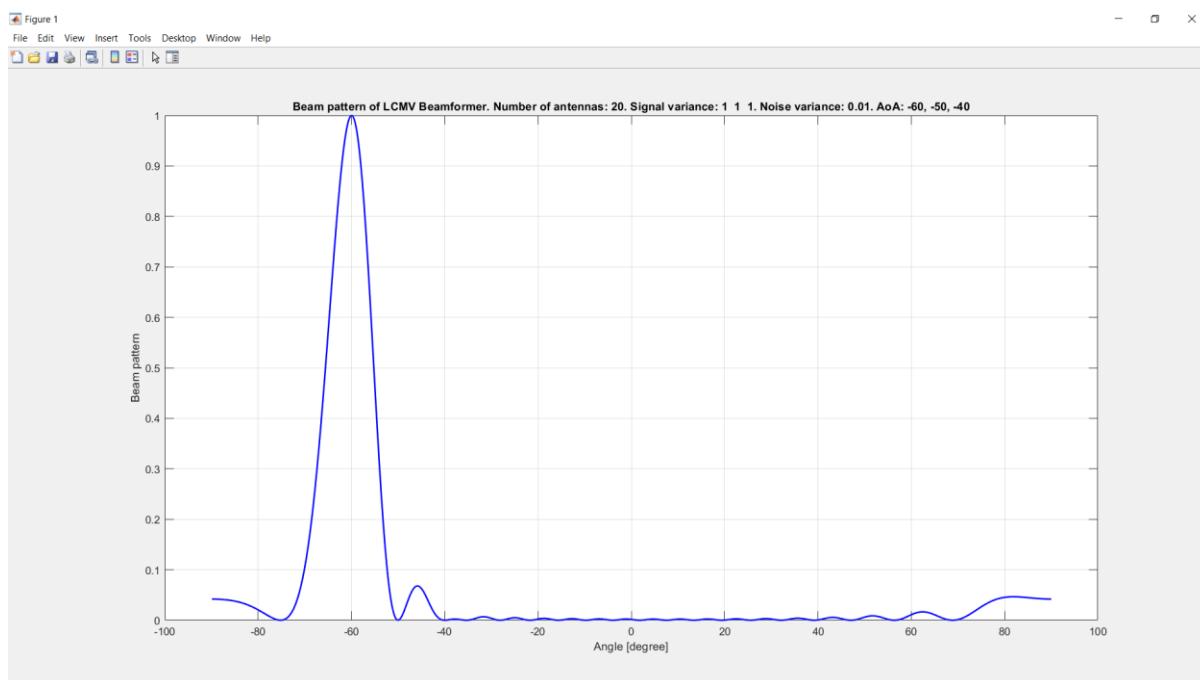
Khi hướng đến của các tín hiệu càng gần nhau thì việc xử lý tín hiệu càng phức tạp hơn, khó tối ưu tín hiệu mong muốn thu được (RMSE giữa tín hiệu sau xử lý và tín hiệu trộn tăng lên).

III.1.3. Thay đổi phương sai nhiễu (noise variance):

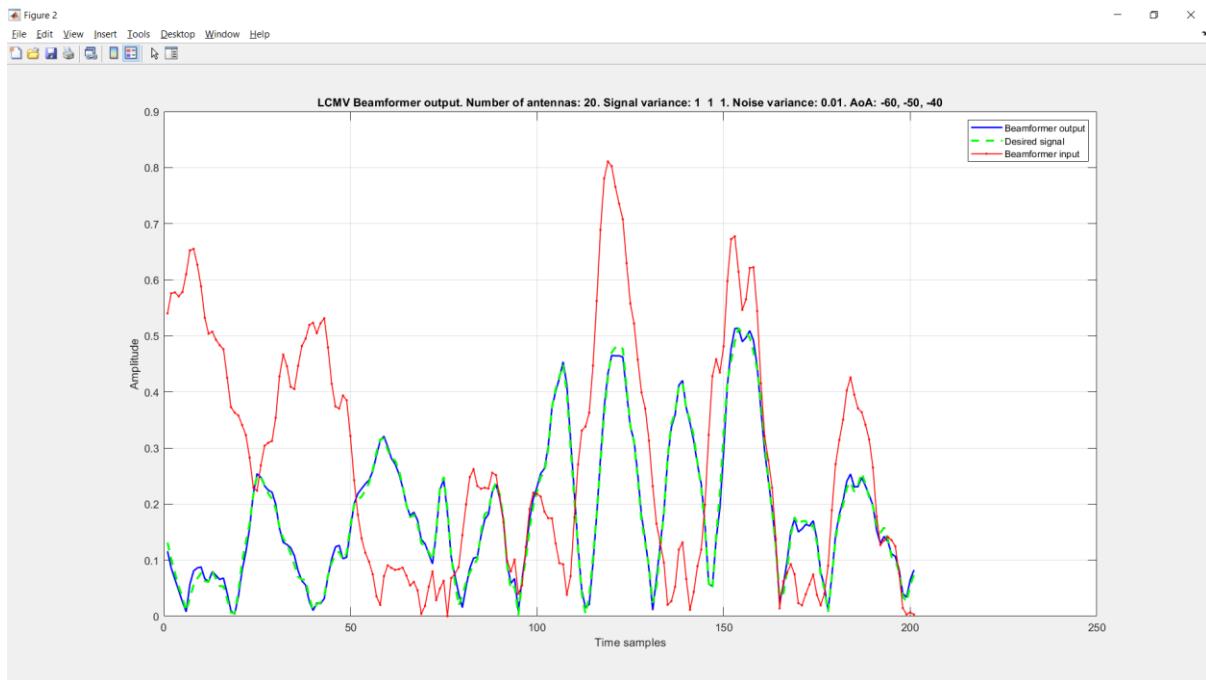
Để thuận tiện cho việc quan sát sự hiệu quả của giải thuật, ta cần chú ý vào tham số Root Mean-square Error (*RMSE*) và quan sát đồ thị tuyển tính cùng đồ thị so sánh tín hiệu mong muốn và ngõ ra của các trường hợp.

Thay đổi phương sai nhiễu $nv = 0.01, 0.1, 1$ rồi quan sát kết quả:

- ❖ Đồ thị tuyển tính, đồ thị so sánh giữa các tín hiệu và *RMSE* tương ứng:
- a) $nv = 0.01$:



Hình 44. Đồ thị tuyển tính của giải thuật với $nv = 0.01$.

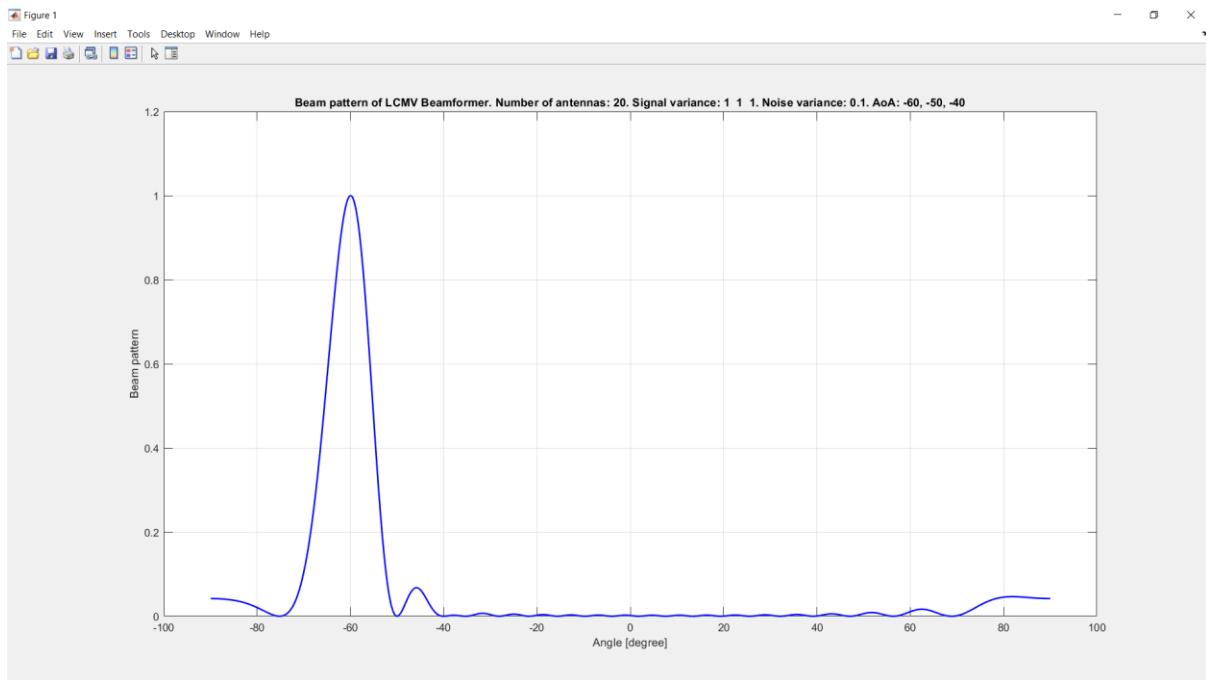


Hình 45. Đồ thị so sánh tín hiệu trộn tại ngõ vào, tín hiệu mong muốn và tín hiệu sau khi xử lý tại ngõ ra với $nv = 0.01$.

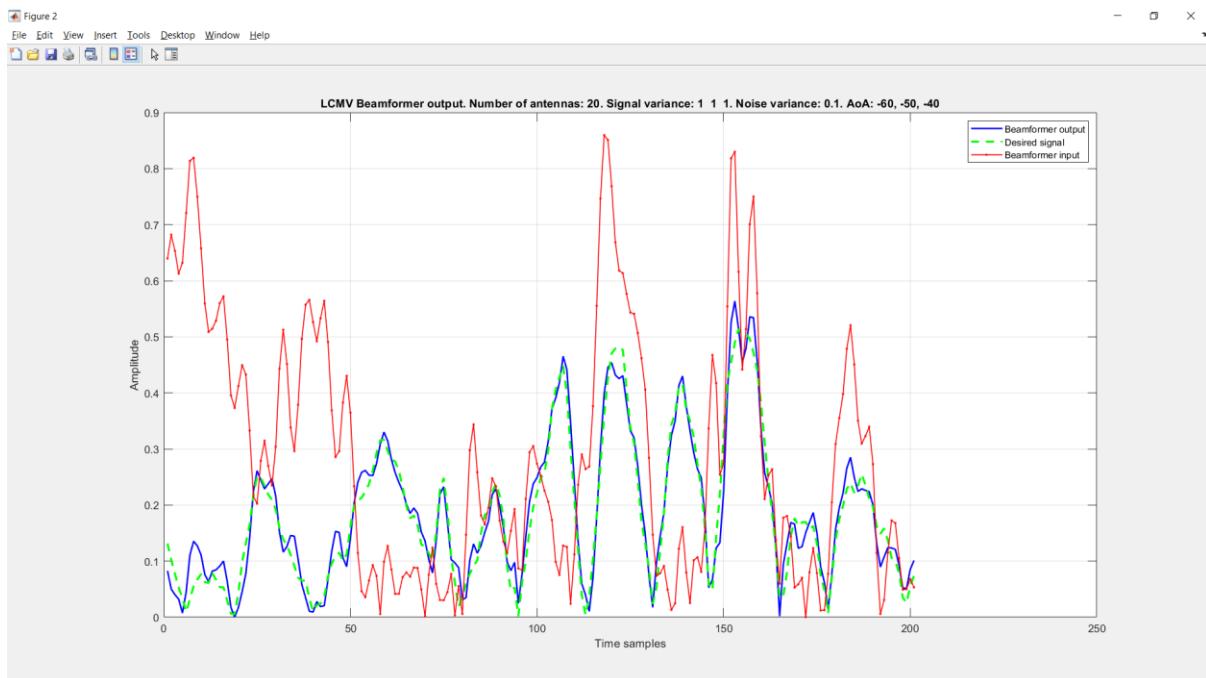
$RMSE = 0.013161$.

Nhân xét: Với phương sai nhiễu nhỏ, khả năng xử lý của bộ lọc khá tốt, bằng chứng là búp sóng chính ở góc của hướng tới tín hiệu mong muốn và các điểm null (điểm không) (điểm không) ở góc của hướng tới can nhiễu. RMSE cũng rất nhỏ cho thấy sự tương đồng lớn giữa tín hiệu tại ngõ ra (màu xanh) và tín hiệu mong muốn (màu lục).

b) $nv = 0.1$:



Hình 46. Đồ thị tuyen tính của giải thuật với $nv = 0.1$.



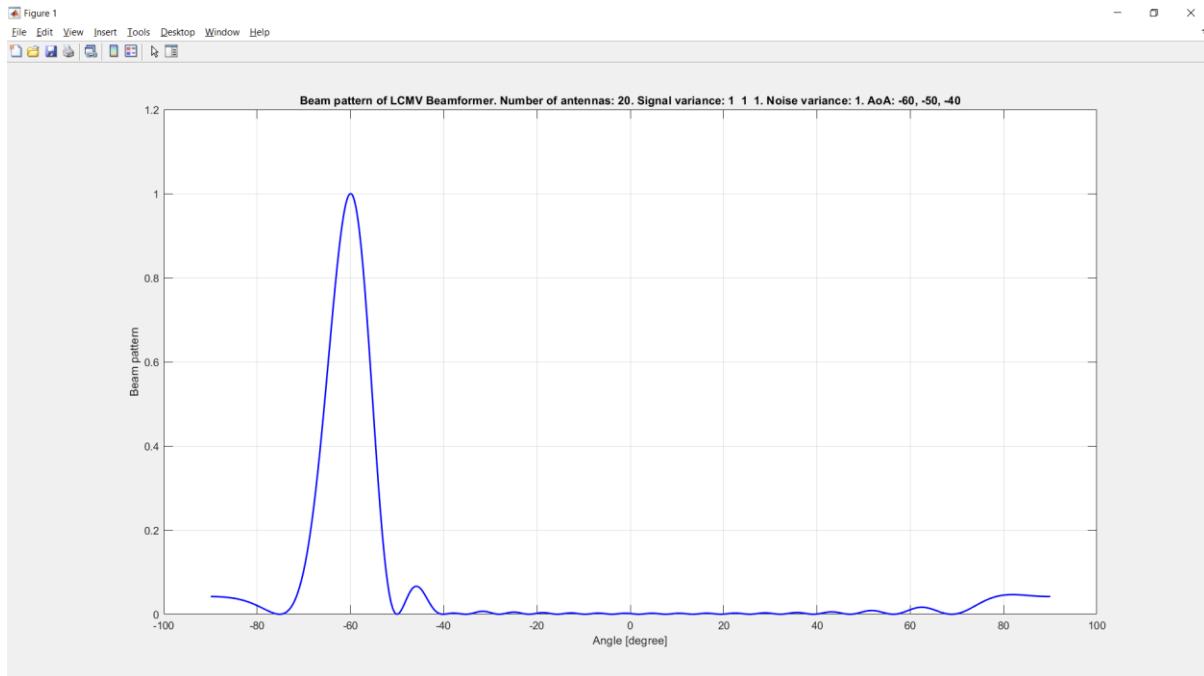
Hình 47. Đồ thị so sánh tín hiệu trộn tại ngõ vào, tín hiệu mong muốn và tín hiệu sau khi xử lý tại ngõ ra với $nv = 0.1$.

$RMSE = 0.041633$.

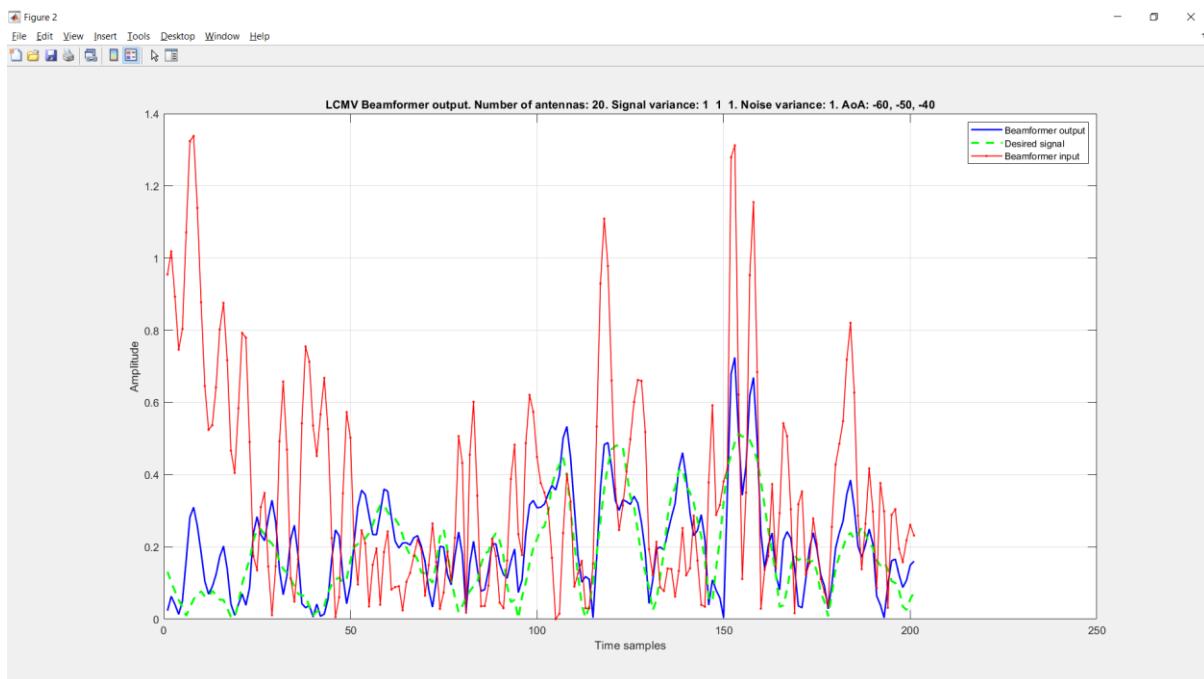
Nhân xét: Khi bắt đầu tăng phương sai nhiễu, sự sai lệch giữa tín hiệu tại ngõ ra và tín hiệu mong muốn bắt đầu xuất hiện. Mặc dù ở đồ thị tuyen tính, góc của búp sóng chính vẫn trùng với góc của hướng tới mong muốn và các điểm null (điểm không) vẫn ở góc của hướng tới can nhiễu, nhưng có thể thấy sự sai lệch nhiều hơn giữa đồ thị tín hiệu

tại ngõ ra (màu xanh) và tín hiệu mong muốn (màu lục). Điều nhận thấy nhất chính là sự tăng lên rõ rệt của RMSE.

c) $nv = 1$:



Hình 48. Đồ thị tuyen tính của giải thuật với $nv = 1$.



Hình 49. Đồ thị so sánh tín hiệu trộn tại ngõ vào, tín hiệu mong muốn và tín hiệu sau khi xử lý tại ngõ ra với $nv = 1$.

$RMSE = 0.13208$.

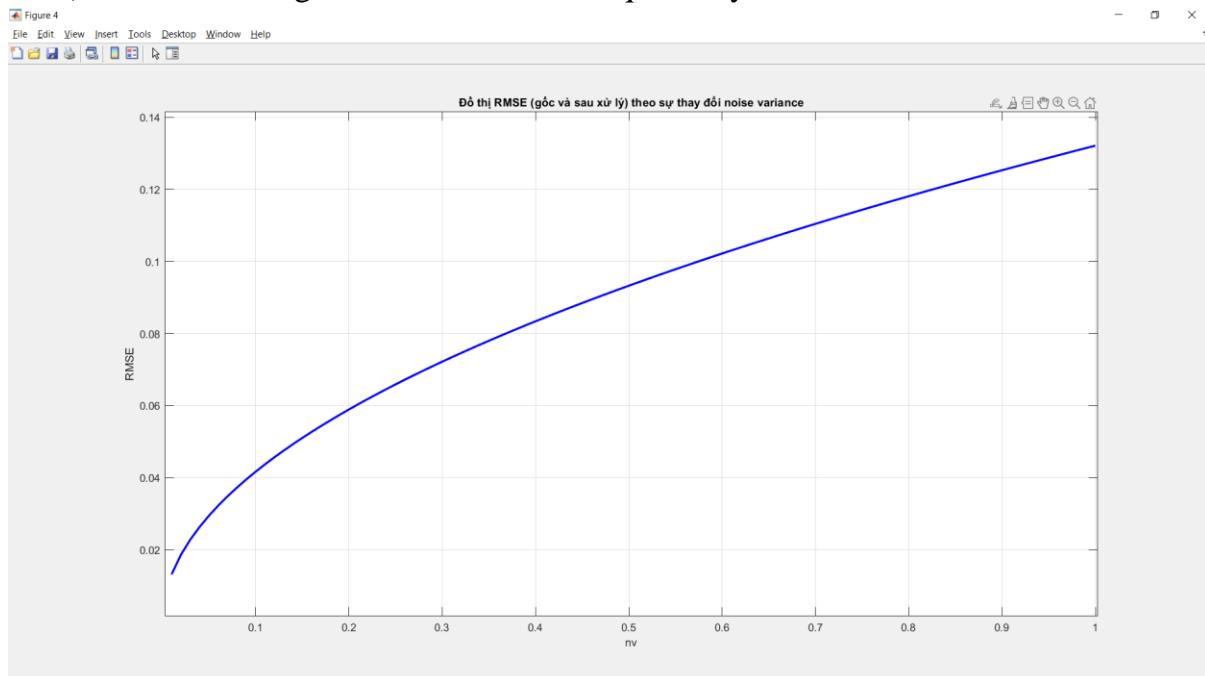
Nhân xét: Khi tăng phương sai nhiễu lớn như vậy, sự sai lệch giữa tín hiệu tại ngõ ra và tín hiệu mong muốn được nhận thấy rõ hơn nữa. Mặc dù ở đồ thị tuyến tính, góc của búp sóng chính vẫn trùng với góc của hướng tới mong muốn, nhưng góc của các điểm null (điểm không) đã lệch so với góc của hướng tới can nhiễu. Đặc biệt, sự sai lệch giữa đồ thị tín hiệu tại ngõ ra (màu xanh) và tín hiệu mong muốn (màu lục) tăng lên rất nhiều và RMSE cũng tăng lên rất đáng kể.

d) Nhận xét chung:

Sự thay đổi của phương sai nhiễu ít có ảnh hưởng tới đồ thị tuyến tính, tín hiệu tại ngõ ra vẫn rất tương đồng với tín hiệu mong muốn và các can nhiễu hầu như được triệt tiêu. Tuy nhiên, RMSE lại có sự thay đổi rõ rệt. Phương sai nhiễu càng tăng thì RMSE càng tăng.

❖ Sự thay đổi RMSE theo sự thay đổi của phương sai nhiễu:

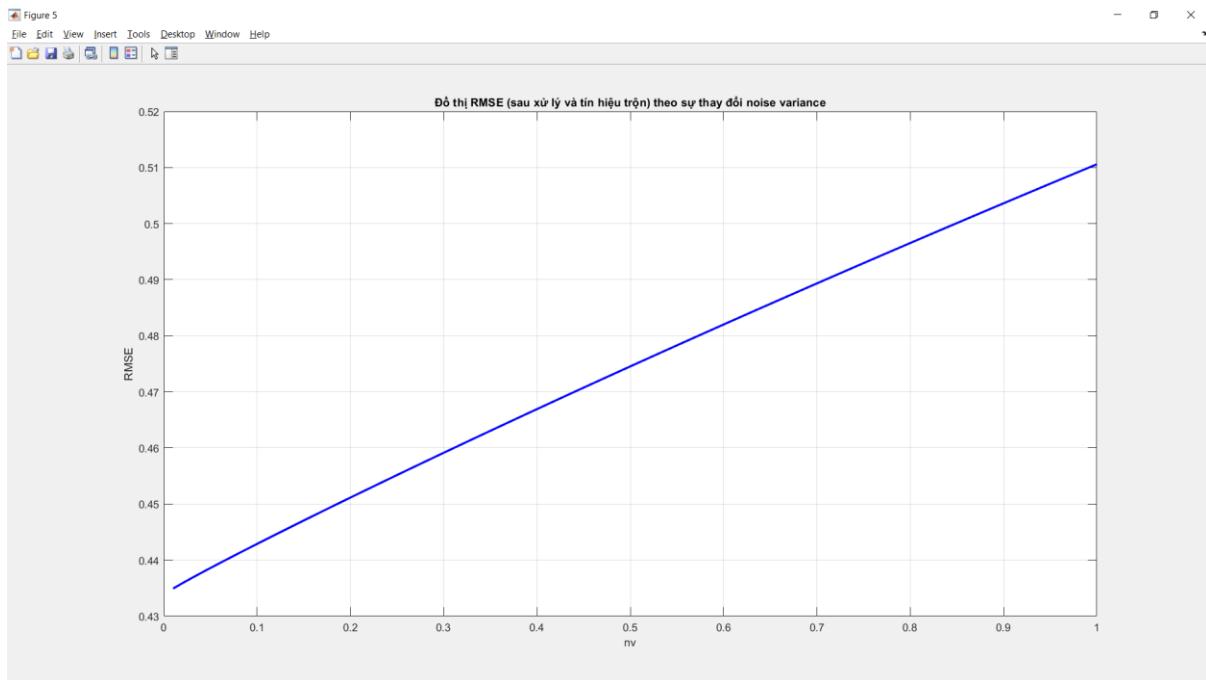
a) Giữa tín hiệu gốc và tín hiệu sau khi qua xử lý:



Hình 50. RMSE giữa tín hiệu gốc và tín hiệu sau khi xử lý theo sự thay đổi phương sai nhiễu.

Nhân xét: Khi phương sai nhiễu tăng, RMSE cũng tăng lên rõ rệt, tín hiệu tại ngõ ra càng sai lệch so với tín hiệu mong muốn.

b) Giữa tín hiệu sau khi qua xử lý và tín hiệu trộn tại ngõ vào bộ lọc:



Hình 51. RMSE giữa tín hiệu sau khi xử lý và tín hiệu trộn tại ngõ vào bộ lọc theo sự thay đổi phương sai nhiễu.

Nhận xét: Khi tăng phương sai nhiễu, sự sai lệch giữa tín hiệu tại ngõ ra sau khi xử lý và tín hiệu trộn tại ngõ vào cũng tăng. Mặc dù vậy, từ kết quả ở trên, có thể thấy sự sai lệch tín hiệu tại ngõ ra và tín hiệu mong muốn cũng tăng lên. Điều này chứng tỏ, phương sai nhiễu ít ảnh hưởng đến việc triệt các can nhiễu, mà chỉ ảnh hưởng đến khả năng lọc nhiễu của giải thuật.

c) Nhận xét chung:

Sự thay đổi của phương sai nhiễu ít có ảnh hưởng tới đồ thị tuyến tính, tín hiệu tại ngõ ra vẫn rất tương đồng với tín hiệu mong muốn và các can nhiễu hầu như được triệt tiêu. Tuy nhiên, RMSE lại có sự thay đổi rõ rệt. Phương sai nhiễu càng tăng thì RMSE càng tăng.

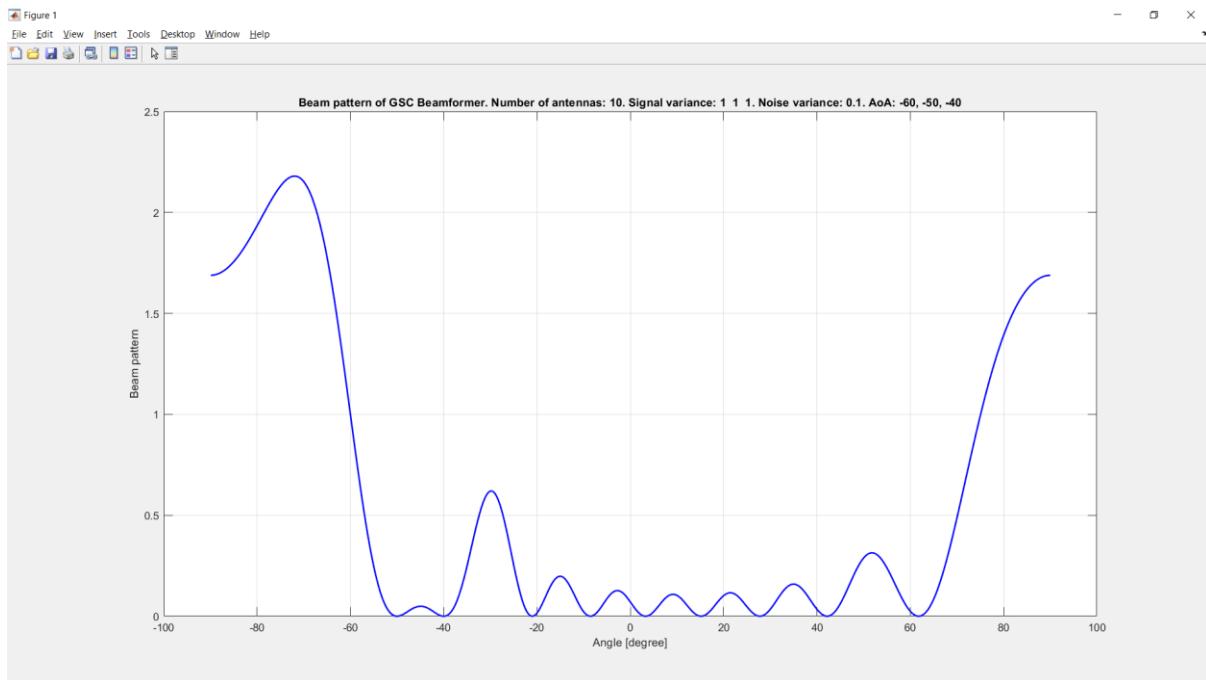
III.2. Bộ triệt các búp bên tống quát (GSC):

III.2.1. Thay đổi số phần tử an-ten M:

Để thuận tiện cho việc quan sát sự hiệu quả của giải thuật, ta cần chú ý vào tham số Root Mean-square Error (RMSE) và quan sát đồ thị tuyến tính cùng đồ thị so sánh tín hiệu mong muốn và ngõ ra của các trường hợp.

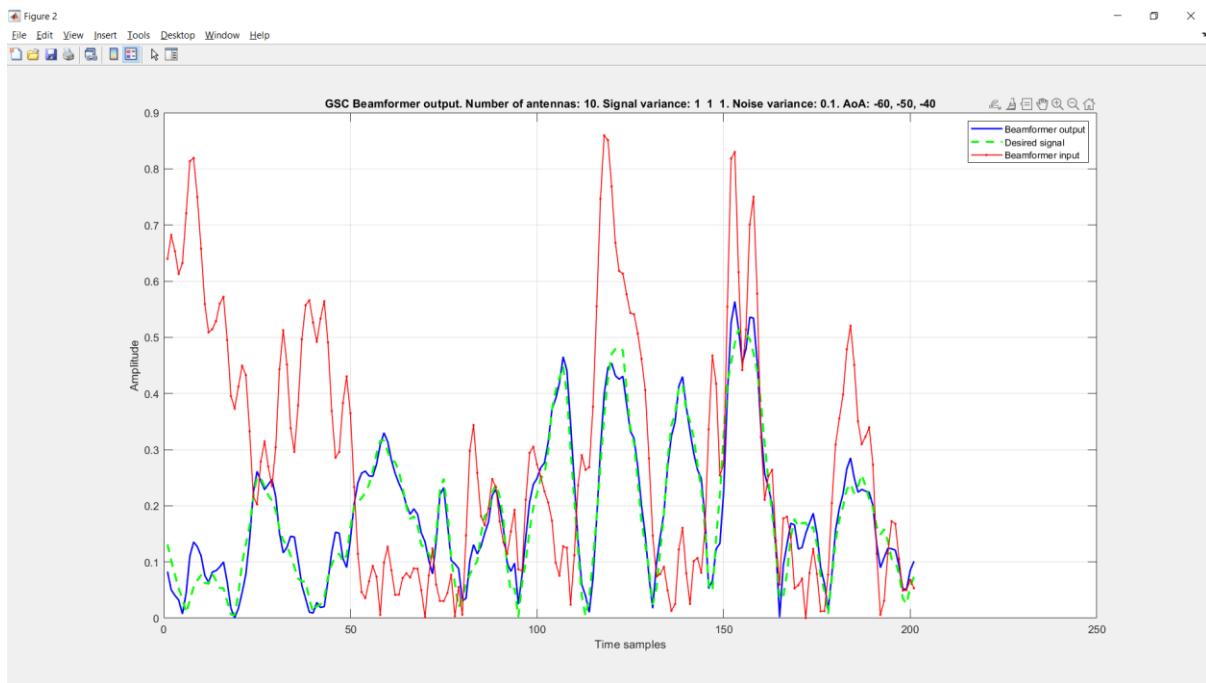
Thay đổi số phần tử $M = 10, 15, 17, 18, 20$ rồi quan sát kết quả:

- ❖ Đồ thị tuyến tính, đồ thị so sánh giữa các tín hiệu và RMSE tương ứng:
- $M = 10$:



Hình 52. Đồ thị tần số của giải thuật với $M = 10$.

Nhận xét: Với số lượng phần tử антенна chưa đủ lớn, giải thuật chưa thể tối ưu tín hiệu mong muốn cần thu được tại ngõ ra, với việc góc của búp sóng chính không phải ở góc của tín hiệu mong muốn.

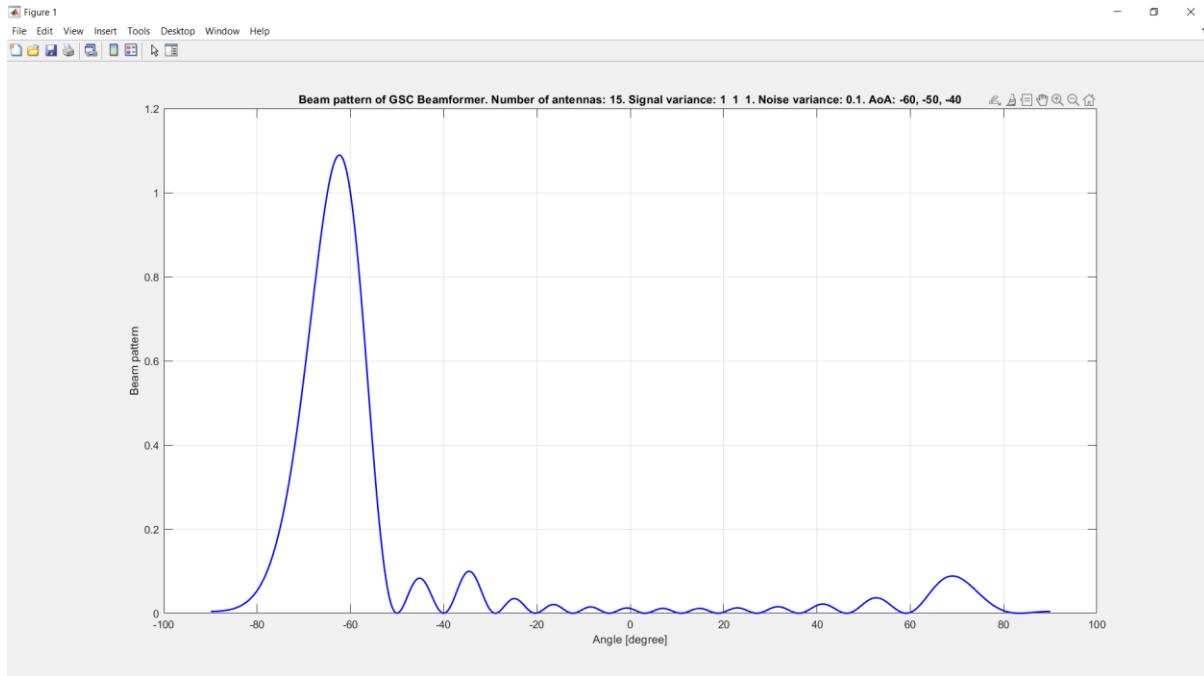


Hình 53. Đồ thị so sánh tín hiệu trộn tại ngõ vào, tín hiệu mong muốn và tín hiệu sau khi xử lý tại ngõ ra với $M = 10$.

$RMSE = 0.041618$.

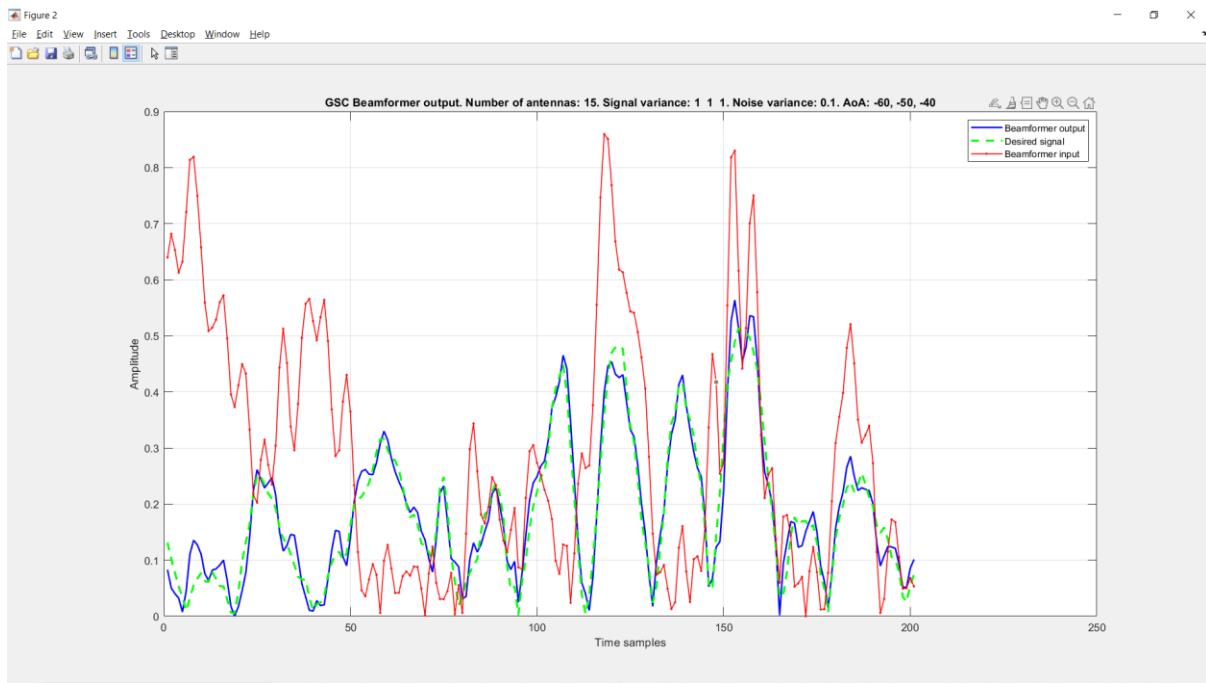
Nhân xét: Đồ thị vẫn cho thấy kết quả là tín hiệu mong muốn và tín hiệu sau khi xử lý tại ngõ ra khá tương đồng nhau. Đồng thời, RMSE nhỏ cho thấy tín hiệu tại ngõ ra sau khi qua xử lý cũng tương đồng với tín hiệu mong muốn.

b) $M = 15$:



Hình 54. Đồ thị tuyen tính của giải thuật với $M = 15$.

Nhân xét: Với số phần tử an-ten $M = 15$ là đủ lớn để giải thuật cho kết quả ưu tú hơn, khi mà góc của búp sóng chính gần với góc hướng tới mong muốn đạt cực đại.

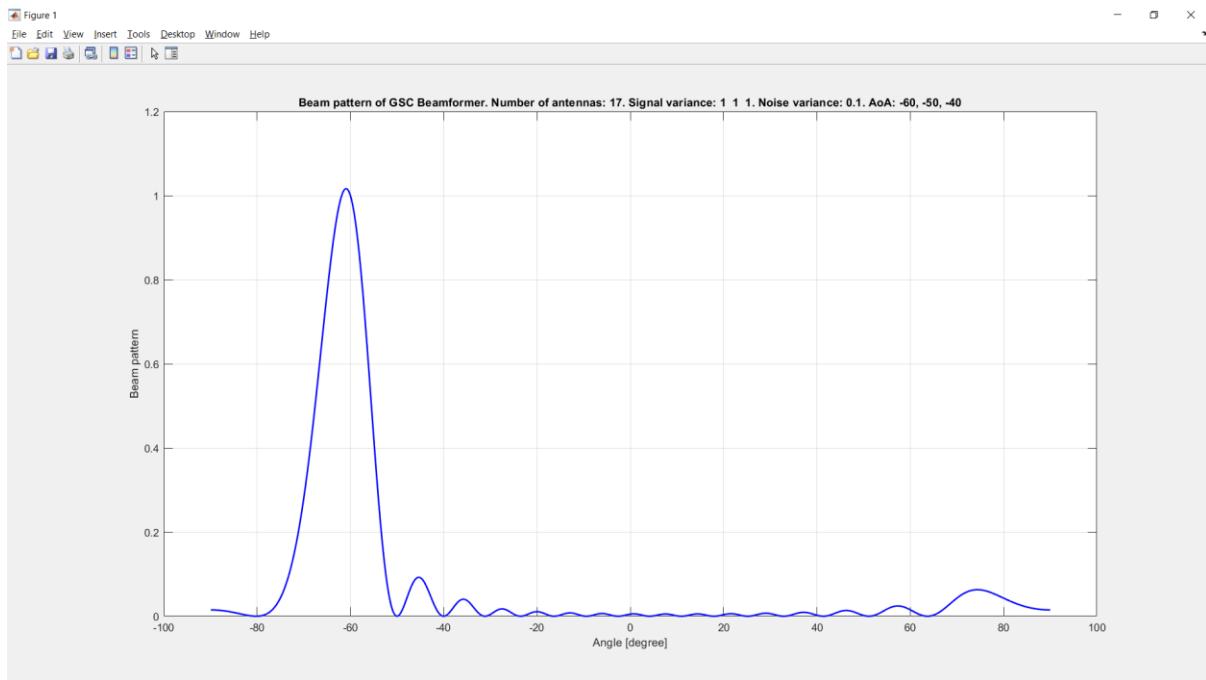


Hình 55. Đồ thị so sánh tín hiệu trộn tại ngõ vào, tín hiệu mong muốn và tín hiệu sau khi xử lý tại ngõ ra với $M = 15$.

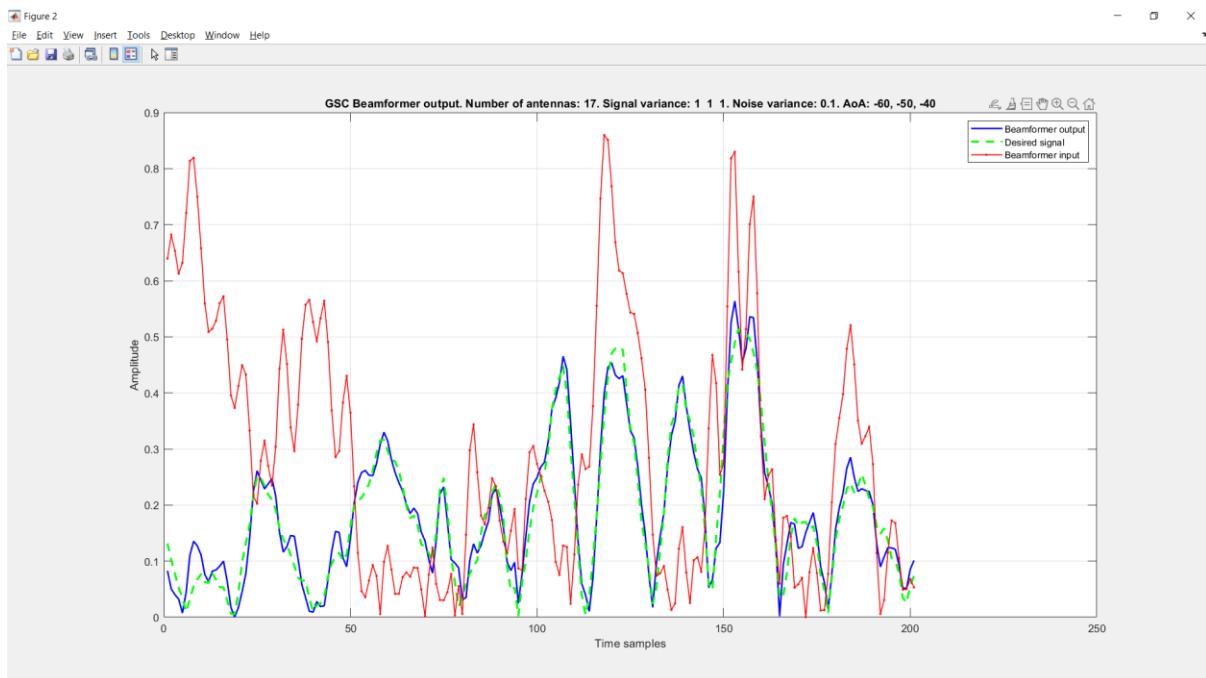
$RMSE = 0.041618$.

Nhận xét: Đồ thị và RMSE cũng cho thấy kết quả là tín hiệu mong muốn và tín hiệu sau khi xử lý tại ngõ ra khá tương đồng nhau. Tuy nhiên, khác với LCMV, RMSE không đổi khi tăng số phần tử an-ten.

c) $M = 17$:



Hình 56. Đồ thị tần số của giải thuật với $M = 17$.

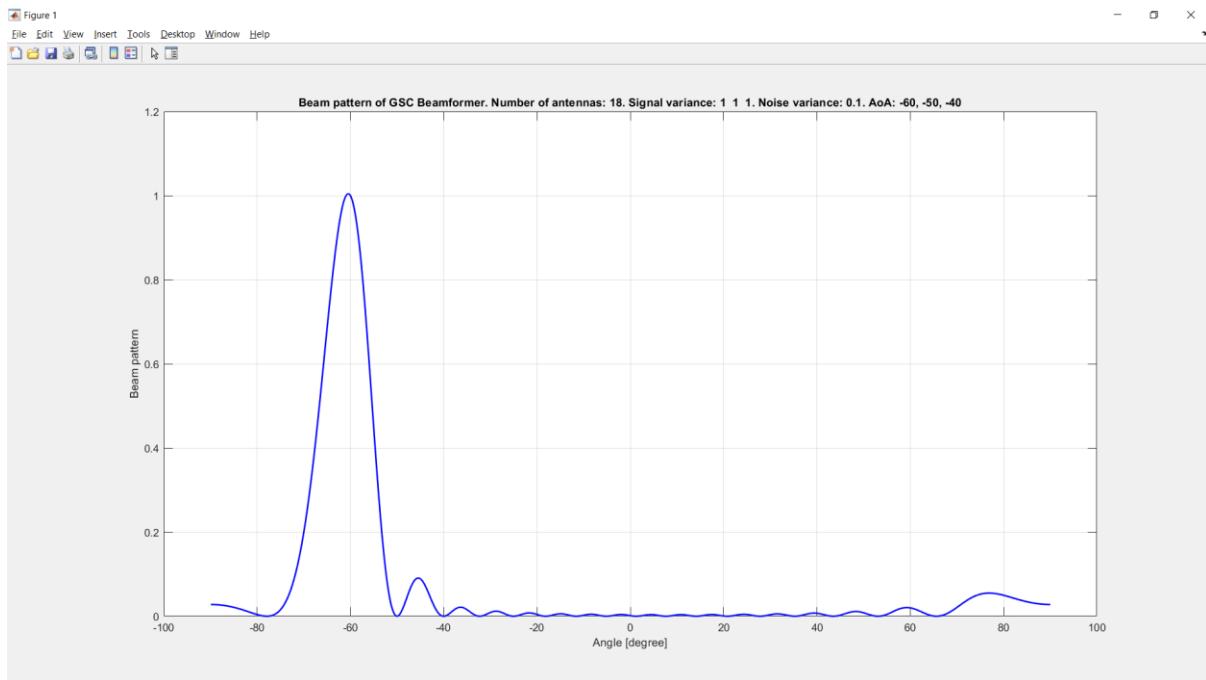


Hình 57. Đồ thị so sánh tín hiệu trộn tại ngõ vào, tín hiệu mong muốn và tín hiệu sau khi xử lý tại ngõ ra với $M = 17$.

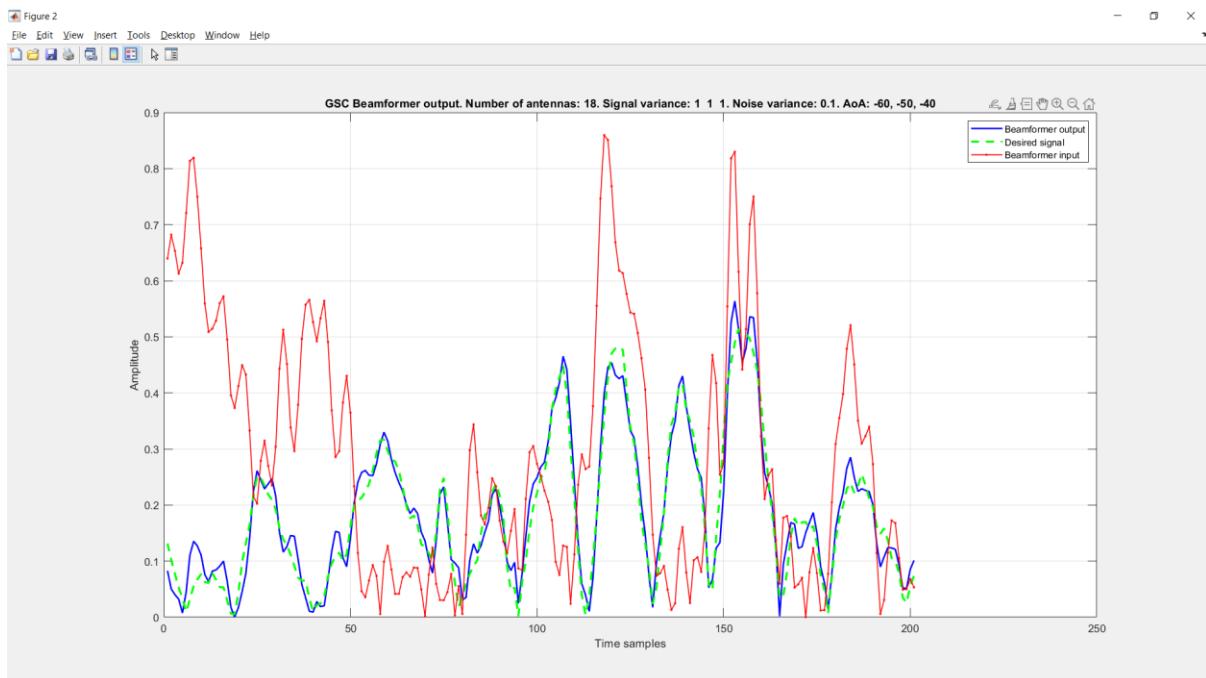
$RMSE = 0.041618$.

Nhận xét: Kết quả tương tự như với $M = 15$, tín hiệu tại ngõ ra càng tương đồng với tín hiệu mong muốn hơn, góc của búp sóng chính càng gần với góc của hướng tới mong muốn.

d) $M = 18$:



Hình 58. Đồ thị tuyen tính của giải thuật với $M = 18$.

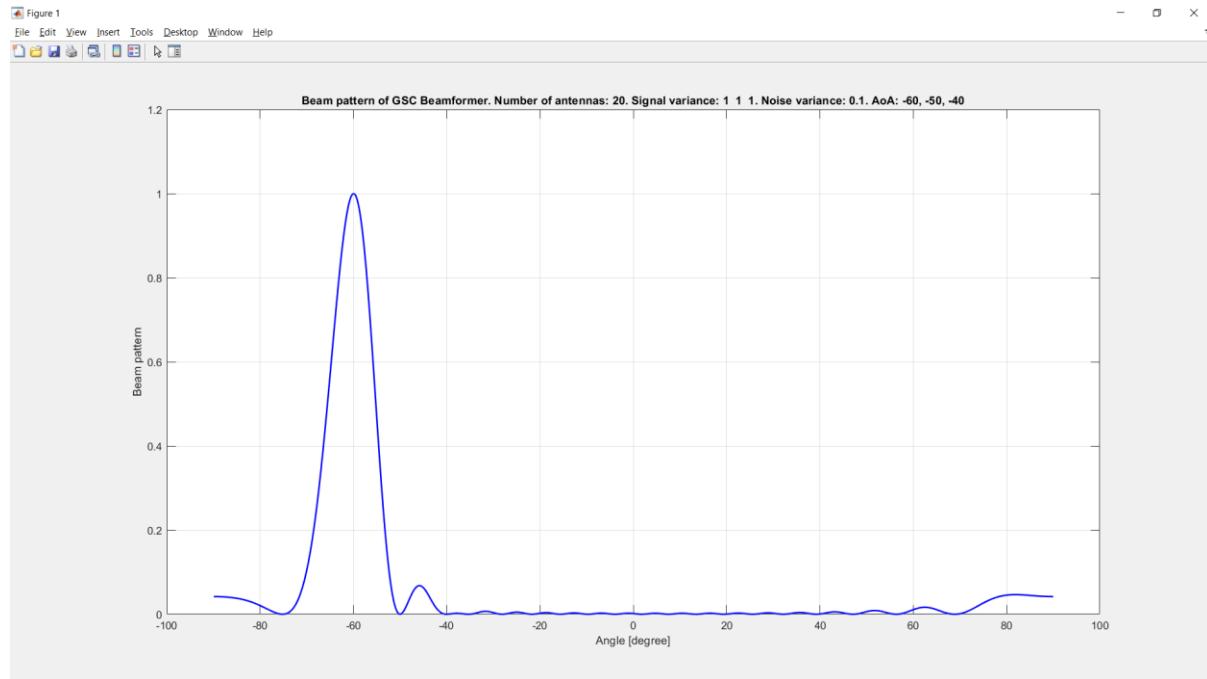


Hình 59. Đồ thị so sánh tín hiệu trộn tại ngõ vào, tín hiệu mong muốn và tín hiệu sau khi xử lý tại ngõ ra với $M = 18$.

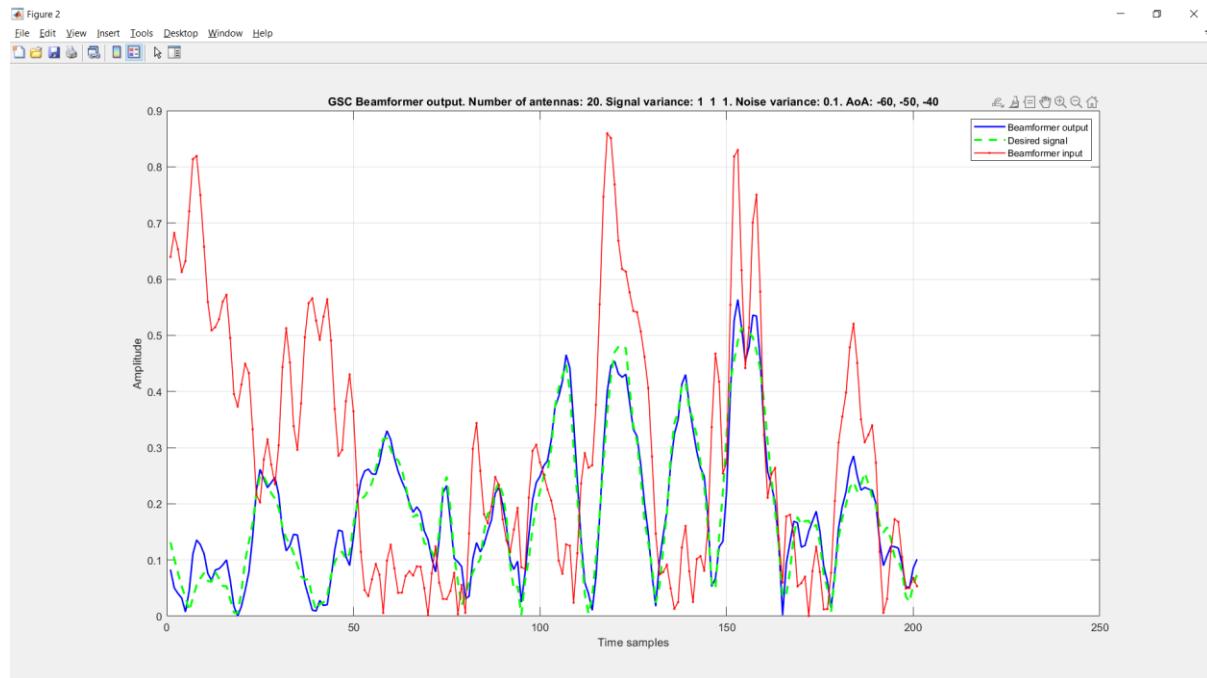
$RMSE = 0.041618$.

Nhận xét: Kết quả tương tự như với $M = 17$, tín hiệu tại ngõ ra càng tương đồng với tín hiệu mong muốn hơn. Đặc biệt, búp sóng chính ở vị trí góc càng gần với hướng tới mong muốn và các điểm null (điểm không) gần nhau trùng với các vị trí góc của can nhiễu.

e) $M = 20$:



Hình 60. Đồ thị tần số của giải thuật với $M = 20$.



Hình 61. Đồ thị so sánh tín hiệu trộn tại ngõ vào, tín hiệu mong muốn và tín hiệu sau khi xử lý tại ngõ ra với $M = 20$.

$$RMSE = 0.041618.$$

Nhận xét: Kết quả tốt nhất với $M = 20$, độ tương đồng giữa tín hiệu tại ngõ ra với tín hiệu mong muốn cao hơn so với các kết quả trước. Búp sóng chính ở chính xác góc của

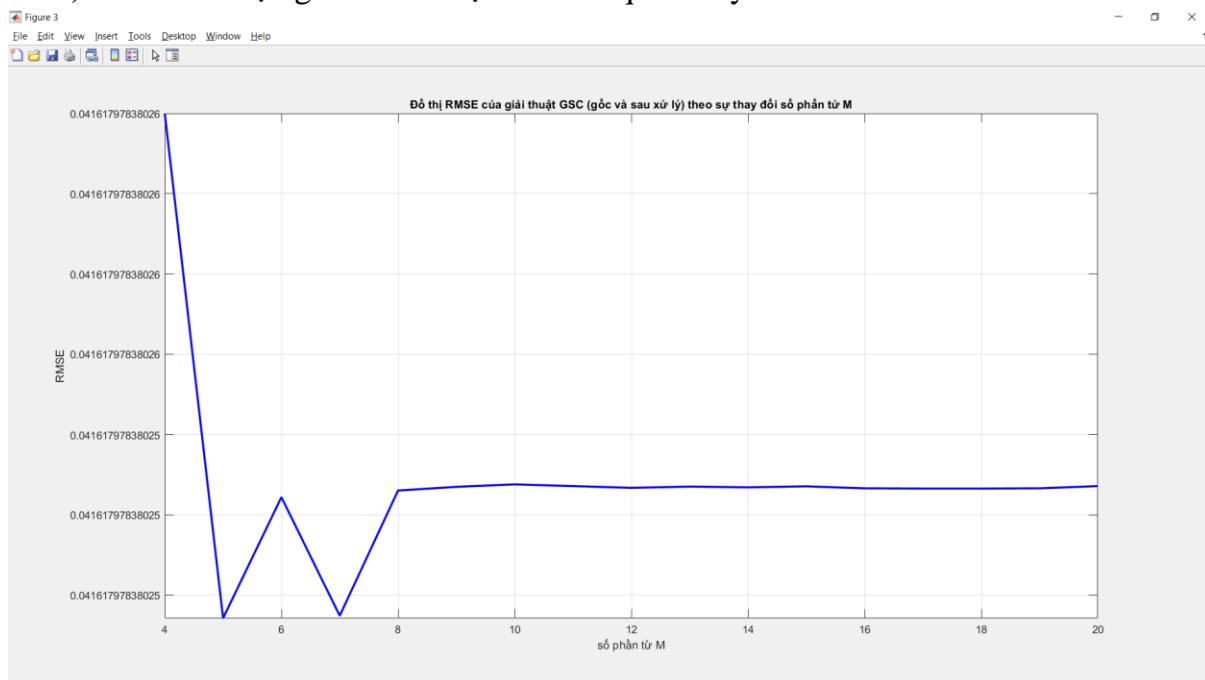
tín hiệu mong muốn, đồng thời tại các góc của hướng tới can nhiều là các điểm null (điểm không), chứng tỏ khả năng triệt can nhiều và tối ưu tín hiệu mong muốn của giải thuật với $M = 20$ là rất tốt.

f) Nhận xét chung:

Dựa vào sự thay đổi ở góc của búp sóng chính ở đồ thị tuyến tính, có thể thấy với số lượng phần tử M càng tăng thì góc của búp sóng chính càng gần với góc của hướng tới tín hiệu mong muốn hơn, đồng thời khả năng triệt can nhiều của giải thuật cũng rất tốt (ở các góc của hướng tới can nhiều thì luôn là các điểm null (điểm không)) và ở số phần tử $M = 20$ thì giải thuật đạt hiệu quả tốt nhất (đúng với hướng tới mong muốn là ở góc -60°). Ngoài ra, RMSE luôn có giá trị 0.041618, chứng tỏ giải thuật có tính ổn định cao và hiệu quả.

❖ Sự thay đổi RMSE theo sự thay đổi của số phần tử an-ten M :

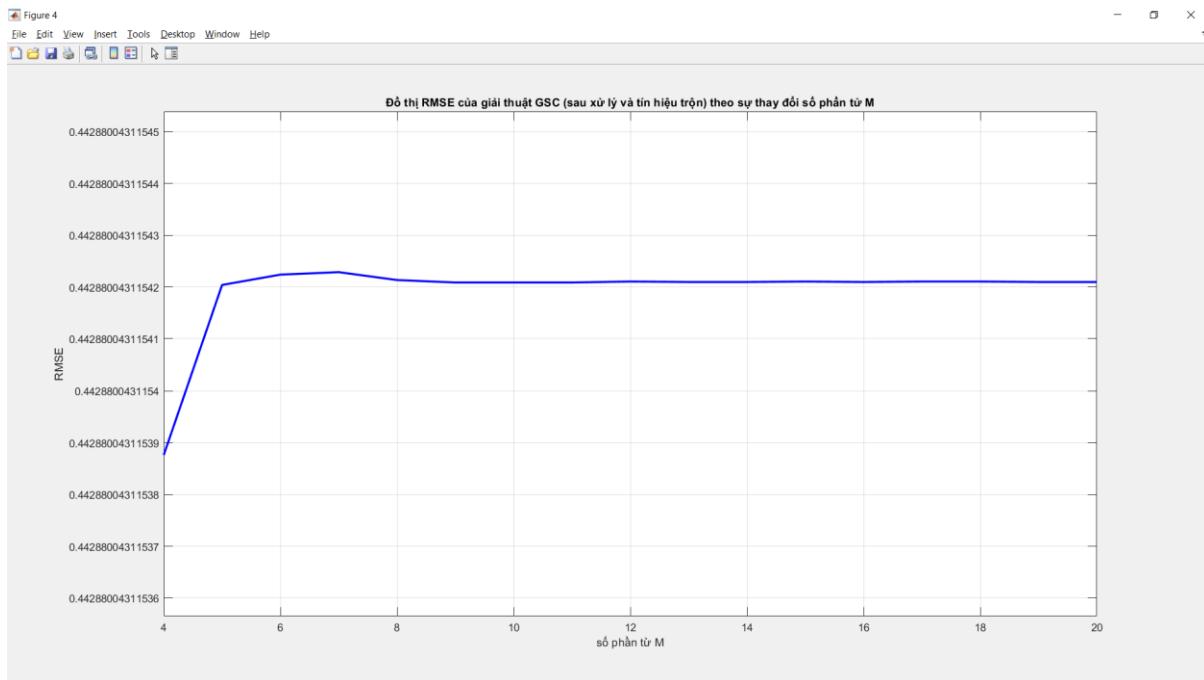
a) Giữa tín hiệu gốc và tín hiệu sau khi qua xử lý:



Hình 62. RMSE giữa tín hiệu gốc và tín hiệu sau khi xử lý theo sự thay đổi số phần tử an-ten M .

Nhận xét: Khi thay đổi số phần tử an-ten M thì RMSE của giải thuật cũng không thay đổi nhiều, điều này chứng tỏ giải thuật có tính ổn định và xử lý tín hiệu tốt hơn so với giải thuật LCMV.

b) Giữa tín hiệu sau khi qua xử lý và tín hiệu trộn tại ngõ vào bộ lọc:



Hình 63. RMSE giữa tín hiệu sau khi xử lý và tín hiệu trộn tại ngõ vào bộ lọc theo sự thay đổi số phần tử an-ten M.

Nhận xét: Khi tăng số phần tử an-ten M thì RMSE tăng lên, kết hợp với kết quả đồ thị trên cho thấy giải thuật triệt can nhiễu từ tín hiệu trộn tốt, ngoài ra khi tăng số phần tử đến $M = 8$ thì RMSE gần như không đổi, chứng tỏ độ ổn định của giải thuật cũng rất cao.

c) Nhận xét chung:

Với số lượng phần tử an-ten M càng tăng, giải thuật càng tối ưu cho việc loại bỏ nhiễu và can nhiễu, tín hiệu tại ngõ ra càng giống với tín hiệu mong muốn thu được. Đặc biệt, với số phần tử M đủ nhiều thì RMSE hầu như không đổi, chứng tỏ giải thuật có tính ổn định càng cao (tối ưu với số phần tử M đó).

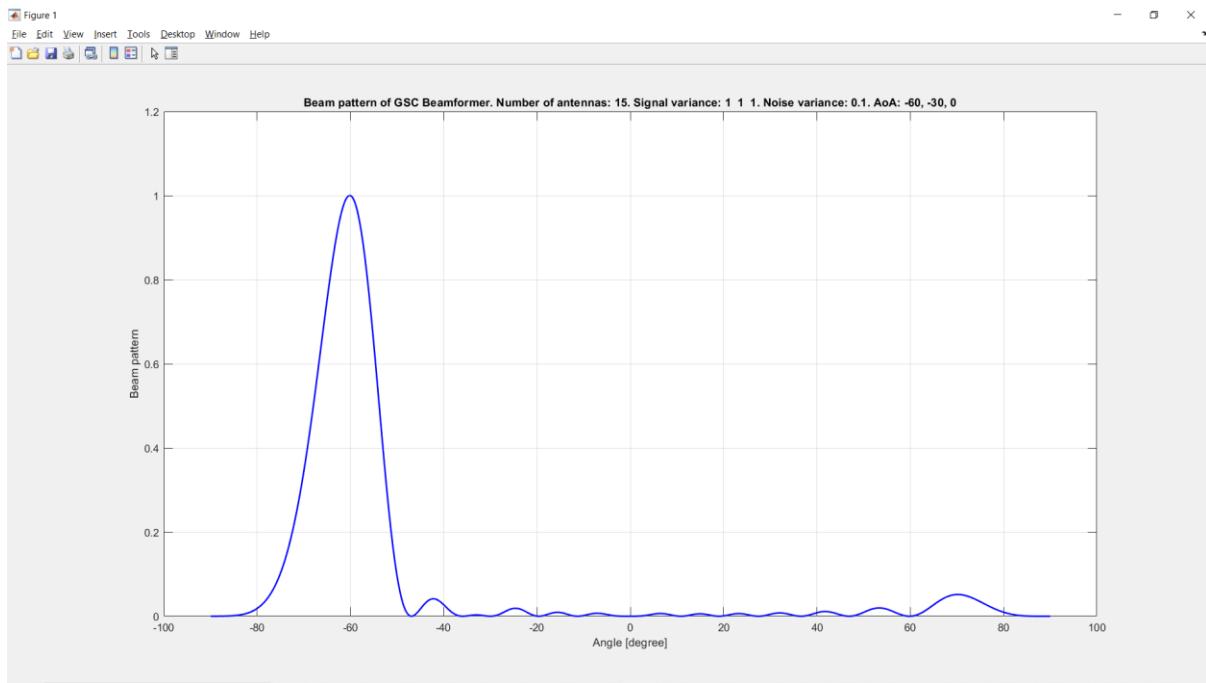
III.2.2. Giảm khoảng cách góc giữa các tín hiệu mong muốn và can nhiễu:

Để thuận tiện cho việc quan sát sự hiệu quả của giải thuật, ta cần chú ý vào tham số Root Mean-square Error (RMSE) và quan sát đồ thị tuyến tính cùng đồ thị so sánh tín hiệu mong muốn và ngõ ra của các trường hợp.

Thay đổi góc của các hướng tới $[\varphi_0, \varphi_1, \varphi_2]$ lần lượt là $[-60^\circ, -30^\circ, 0^\circ]$; $[-60^\circ, -35^\circ, -10^\circ]$; $[-60^\circ, -40^\circ, -20^\circ]$; $[-60^\circ, -45^\circ, -30^\circ]$; $[-60^\circ, -50^\circ, -40^\circ]$ rồi quan sát kết quả (sử dụng số phần tử $M = 15$ để dễ dàng quan sát sự khác biệt):

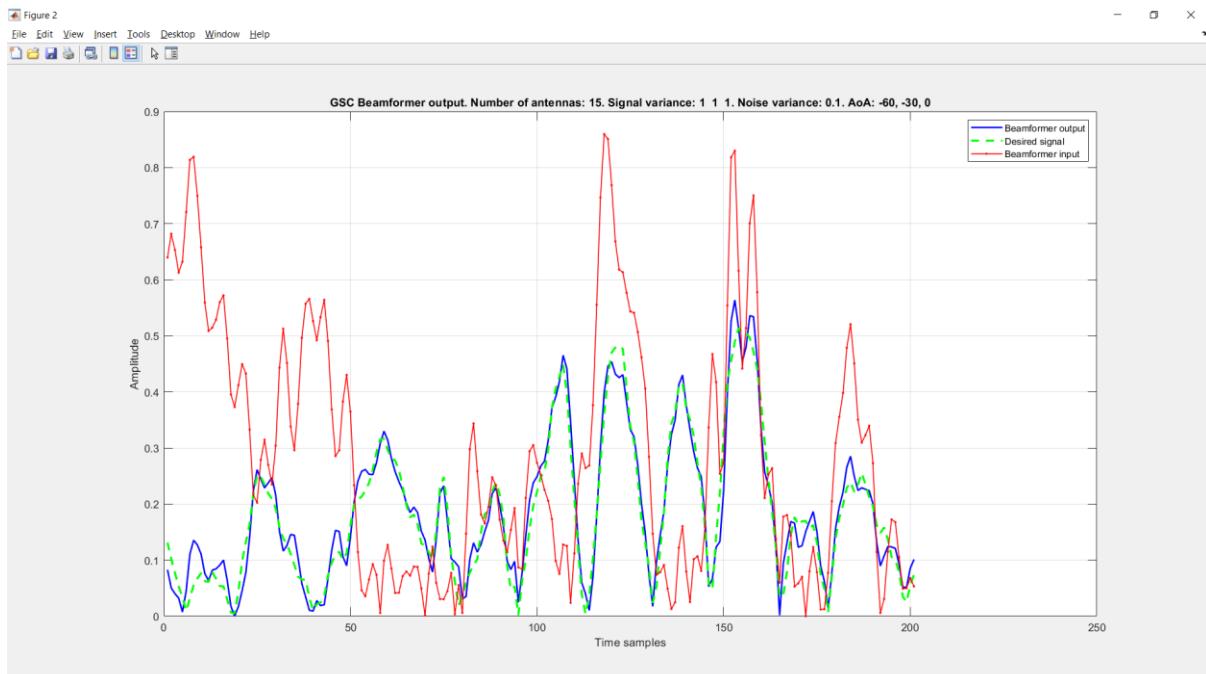
❖ Đồ thị tuyến tính, đồ thị so sánh giữa các tín hiệu và RMSE tương ứng:

a) $[\varphi_0, \varphi_1, \varphi_2] = [-60^\circ, -30^\circ, 0^\circ]$:



Hình 64. Đồ thị tần số của giải thuật với $[\varphi_0, \varphi_1, \varphi_2] = [-60^\circ, -30^\circ, 0^\circ]$.

Nhận xét: Với khoảng cách góc giữa tín hiệu mong muốn và can nhiễu lớn như vậy, giải thuật có thể xử lý dễ dàng. Tại góc của hướng tới tín hiệu mong muốn là búp sóng chính, đồng thời tại góc của các hướng tới can nhiễu là các điểm null (điểm không), cho thấy giải thuật xử lý tín hiệu tốt với trường hợp này.

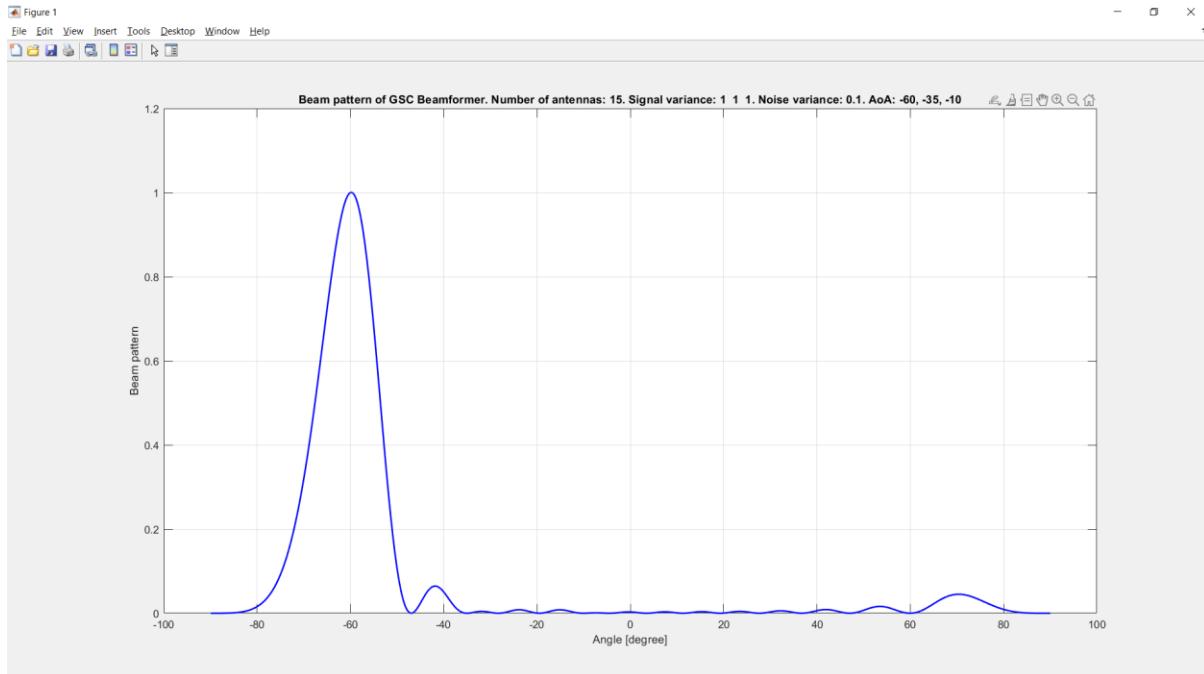


Hình 65. Đồ thị so sánh tín hiệu trộn tại ngõ vào, tín hiệu mong muốn và tín hiệu sau khi xử lý tại ngõ ra với $[\varphi_0, \varphi_1, \varphi_2] = [-60^\circ, -30^\circ, 0^\circ]$.

RMSE = 0.041618.

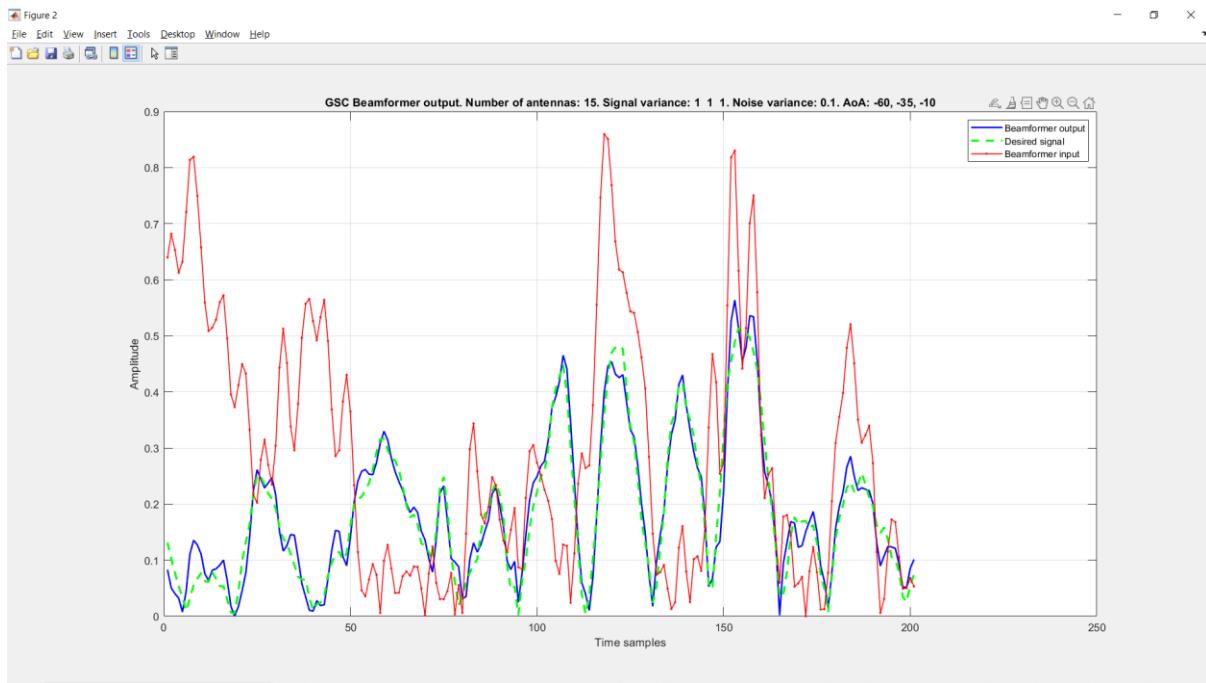
Nhân xét: Với khoảng cách góc giữa hướng tới của tín hiệu mong muốn và can nhiễu ở trường hợp này, tín hiệu tại ngõ ra (màu lục) rất tương đồng với tín hiệu mong muốn (màu xanh) và khác biệt rất nhiều với tín hiệu trộn tại ngõ vào (màu đỏ). RMSE cũng rất nhỏ cho thấy sự tương đồng giữa tín hiệu tại ngõ ra sau khi qua xử lý và tín hiệu mong muốn.

b) $[\varphi_0, \varphi_1, \varphi_2] = [-60^\circ, -35^\circ, -10^\circ]$:



Hình 66 Đồ thị tuyền tính của giải thuật với $[\varphi_0, \varphi_1, \varphi_2] = [-60^\circ, -35^\circ, -10^\circ]$.

Nhân xét: Với việc bắt đầu giảm khoảng cách góc giữa tín hiệu mong muốn và can nhiễu một lượng nhỏ, kết quả giải thuật hầu như không thay đổi.

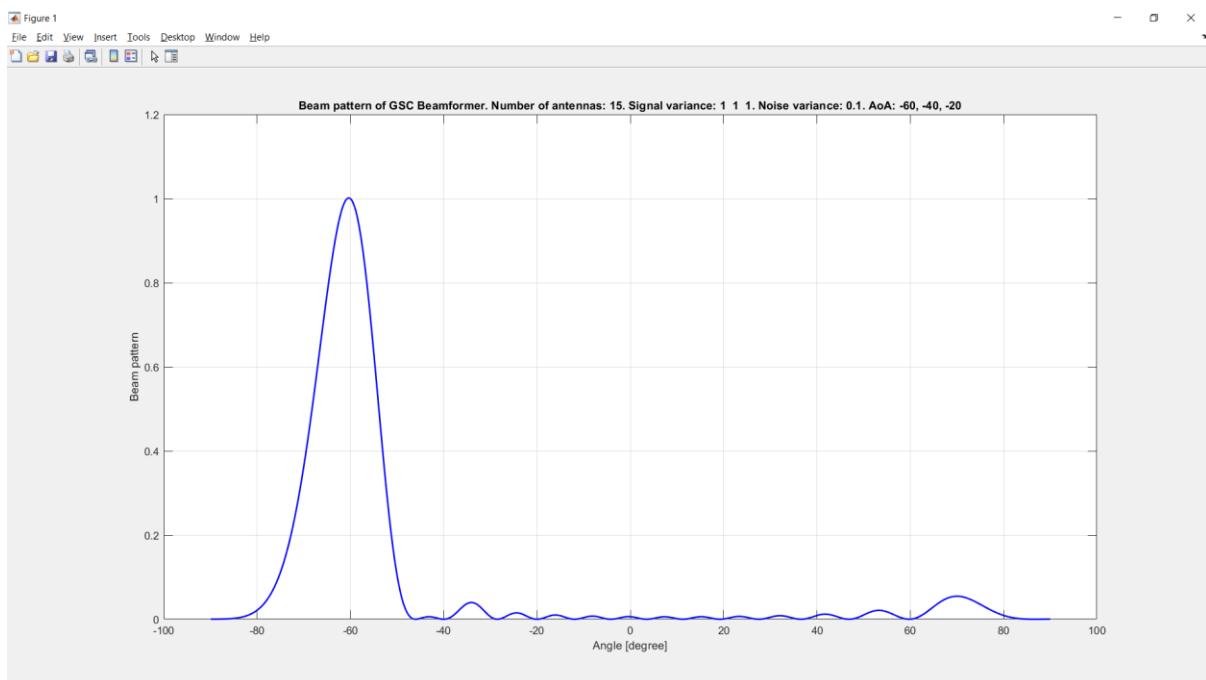


Hình 67. Đồ thị so sánh tín hiệu trộn tại ngõ vào, tín hiệu mong muốn và tín hiệu sau khi xử lý tại ngõ ra với $[\varphi_0, \varphi_1, \varphi_2] = [-60^\circ, -35^\circ, -10^\circ]$.

$RMSE = 0.041618$.

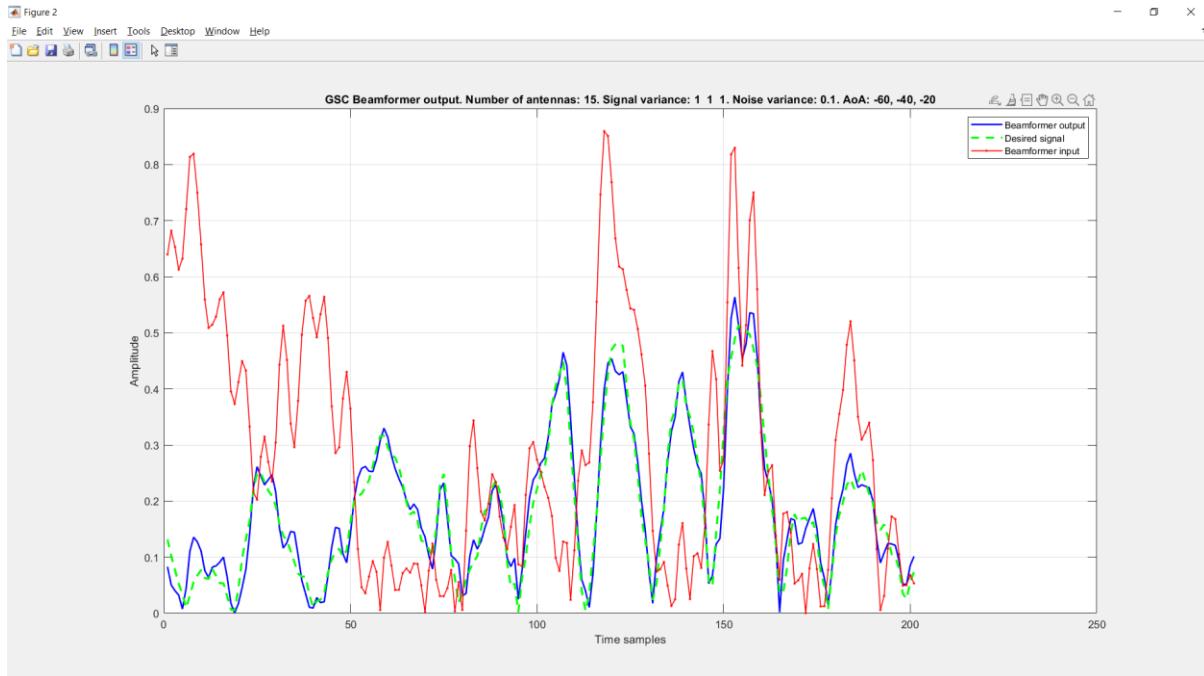
Nhận xét: Sự sai lệch hầu như không tăng lên giữa tín hiệu tại ngõ ra (màu xanh) và tín hiệu mong muốn (màu lục). Ngoài ra, RMSE cũng không thay đổi so với trường hợp trước đó.

c) $[\varphi_0, \varphi_1, \varphi_2] = [-60^\circ, -40^\circ, -20^\circ]$:



Hình 68. Đồ thị tuyen tính của giải thuật với $[\varphi_0, \varphi_1, \varphi_2] = [-60^\circ, -40^\circ, -20^\circ]$.

Nhân xét: Lúc này, kết quả có một chút thay đổi so với trước đó. Góc của búp sóng chính lệch một chút so với góc của hướng tới tín hiệu mong muốn.

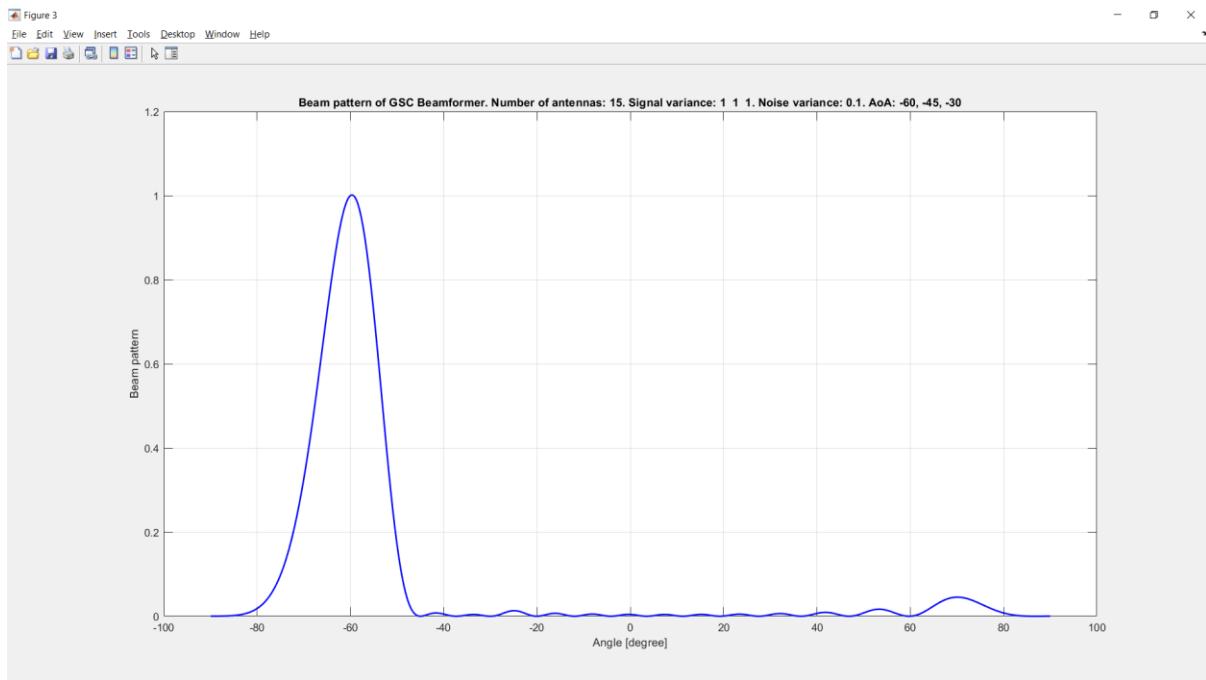


Hình 69. Đồ thị so sánh tín hiệu trộn tại ngõ vào, tín hiệu mong muốn và tín hiệu sau khi xử lý tại ngõ ra với $[\varphi_0, \varphi_1, \varphi_2] = [-60^\circ, -40^\circ, -20^\circ]$.

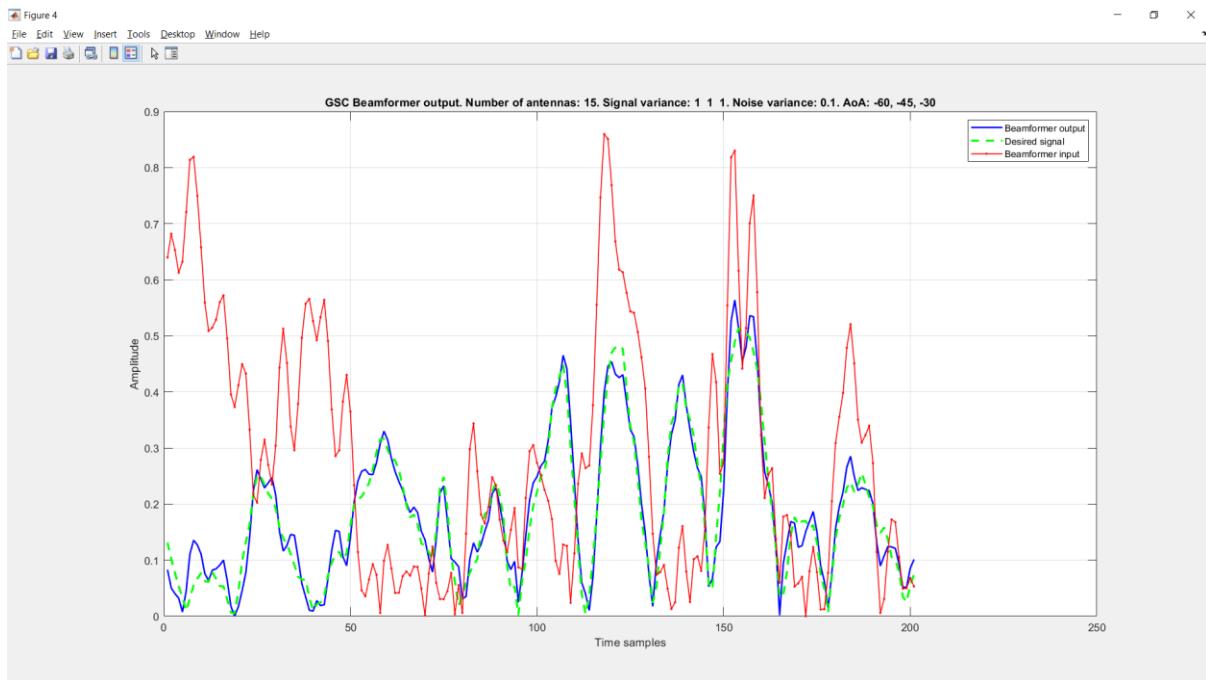
$$RMSE = 0.041618.$$

Nhân xét: Sự sai lệch giữa tín hiệu tại ngõ ra (màu xanh) và tín hiệu mong muốn (màu lục) bắt đầu tăng lên. Mặc dù vậy, RMSE vẫn không đổi so với các trường hợp trước đó.

d) $[\varphi_0, \varphi_1, \varphi_2] = [-60^\circ, -45^\circ, -30^\circ]$:



Hình 70. Đồ thị tần số tia của giải thuật với $[\varphi_0, \varphi_1, \varphi_2] = [-60^\circ, -45^\circ, -30^\circ]$.

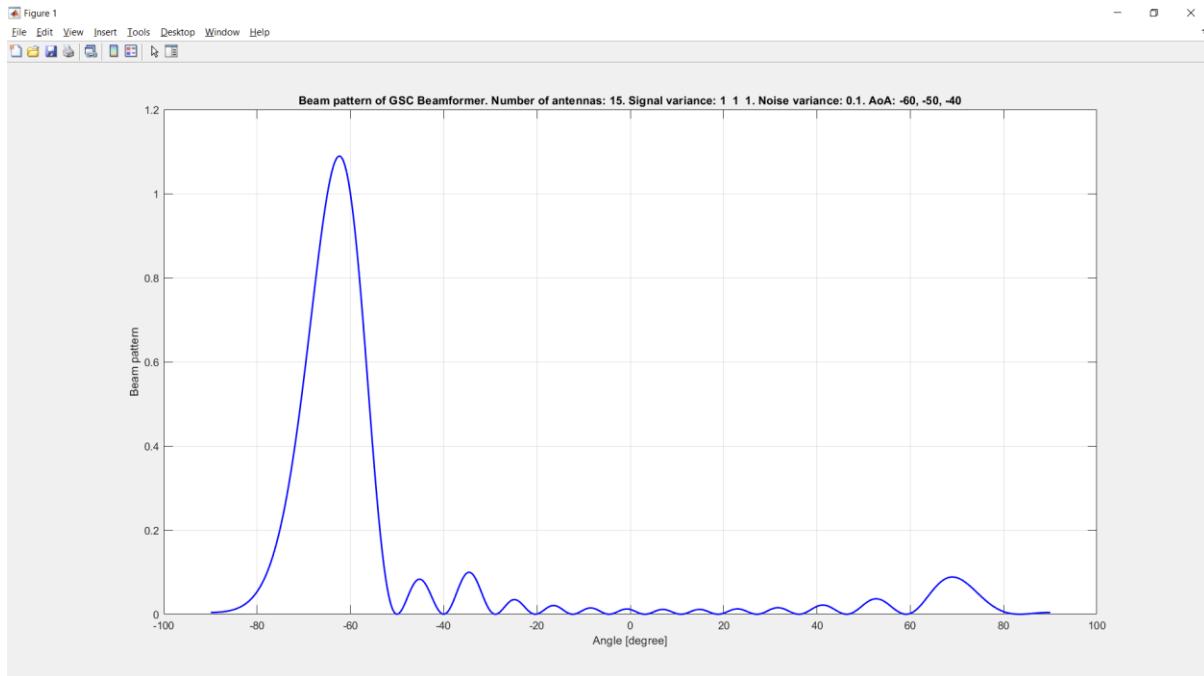


Hình 71. Đồ thị so sánh tín hiệu trộn tại ngõ vào, tín hiệu mong muốn và tín hiệu sau khi xử lý tại ngõ ra với $[\varphi_0, \varphi_1, \varphi_2] = [-60^\circ, -45^\circ, -30^\circ]$.

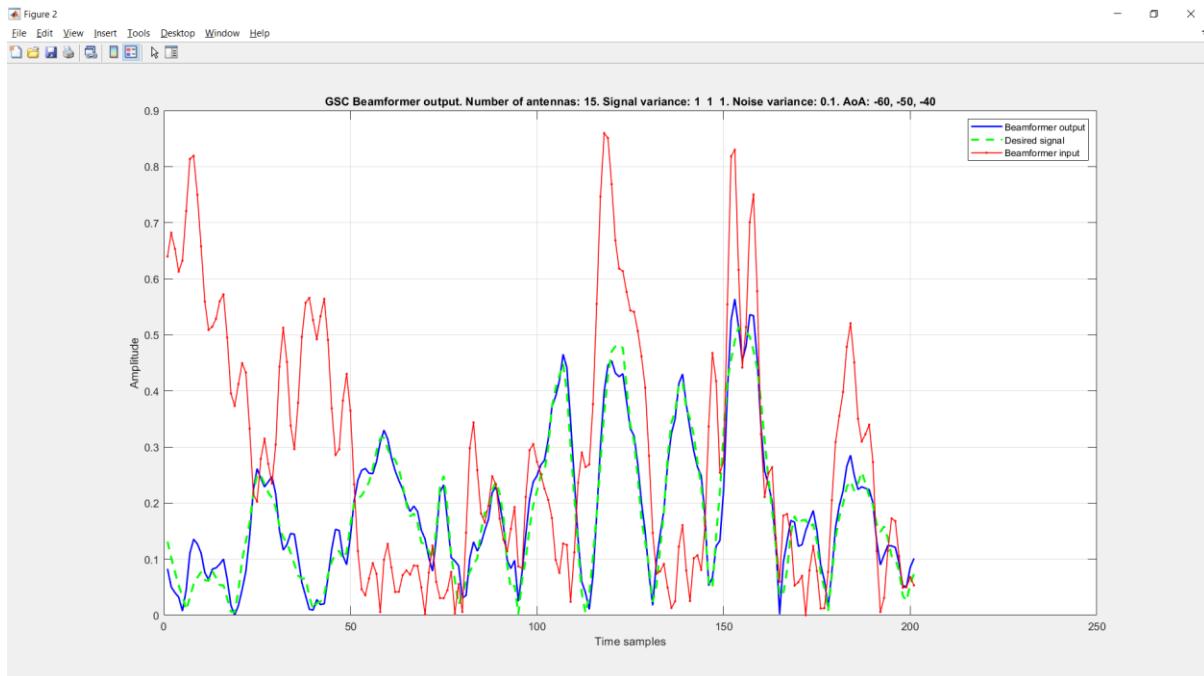
$RMSE = 0.041618$.

Nhận xét: Tương tự như trên, khi càng giảm khoảng cách góc giữa tín hiệu mong muốn và can nhiễu, sự sai lệch cũng đã xuất hiện. Mặc dù vậy, độ lệch giữa góc của búp sóng chính so với góc của hướng tới tín hiệu mong muốn cũng rất nhỏ (tương tự như trường hợp trước) và sự sai lệch giữa đồ thị tín hiệu tại ngõ ra (màu xanh) và tín hiệu mong muốn (màu lục) tăng lên không đáng kể, RMSE vẫn không đổi.

e) $[\varphi_0, \varphi_1, \varphi_2] = [-60^\circ, -50^\circ, -40^\circ]$:



Hình 72. Đồ thị tần số của giải thuật với $[\varphi_0, \varphi_1, \varphi_2] = [-60^\circ, -50^\circ, -40^\circ]$.



Hình 73. Đồ thị so sánh tín hiệu trộn tại ngõ vào, tín hiệu mong muốn và tín hiệu sau khi xử lý tại ngõ ra với $[\varphi_0, \varphi_1, \varphi_2] = [-60^\circ, -50^\circ, -40^\circ]$.

$$RMSE = 0.041618.$$

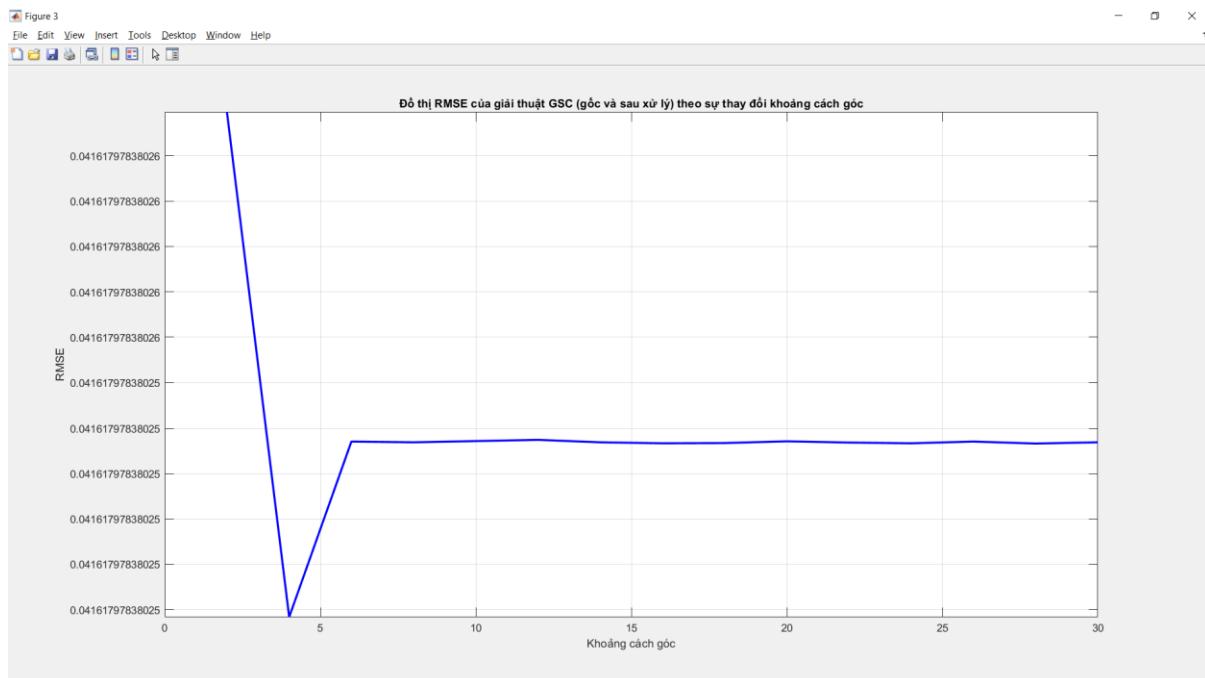
Nhận xét: Thể hiện rõ việc giảm khoảng cách góc giữa tín hiệu mong muốn và can nhiễu ảnh hưởng đến khả năng xử lý tín hiệu của giải thuật. Búp sóng chính bây giờ nằm lệch so với góc của hướng tới mong muốn một khoảng tương đối lớn. Mặc dù vậy, sự sai

lệch giữa đồ thị tín hiệu tại ngõ ra (màu xanh) và tín hiệu mong muốn (màu lục) tăng lên không đáng kể, RMSE cũng vẫn như các trường hợp trước.

f) Nhận xét chung:

Dựa vào sự thay đổi vị trí góc của búp sóng chính ở đồ thị tuyến tính, có thể thấy khoảng cách góc giữa các tín hiệu càng gần thì việc thu tín hiệu mong muốn và triệt các can nhiễu càng khó hơn (sai lệch góc thu tín hiệu mong muốn và sai lệch các góc cần triệt can nhiễu). Tuy nhiên, khác biệt so với giải thuật LCMV chính là đồ thị tuyến tính tại các góc của hướng tới can nhiễu luôn bằng 0 (điểm null (điểm không)) và RMSE không thay đổi.

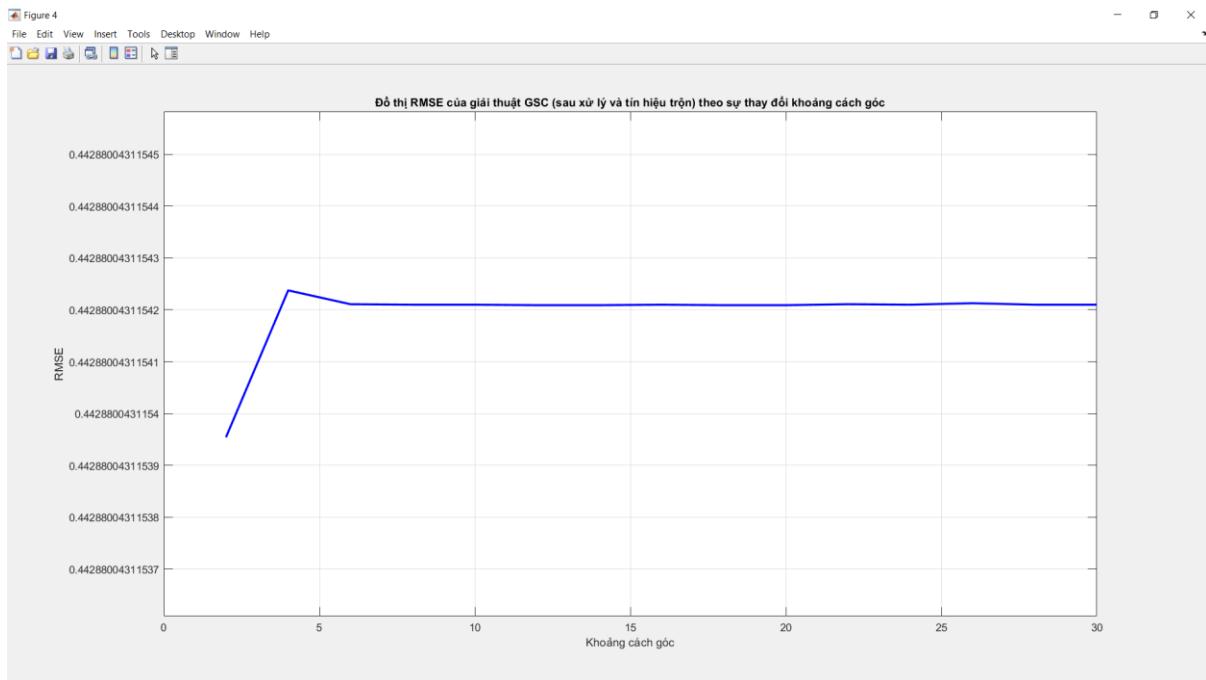
- ❖ Sự thay đổi RMSE theo sự thay đổi của khoảng cách góc giữa hướng tới của tín hiệu mong muốn và can nhiễu:
- a) Giữa tín hiệu gốc và tín hiệu sau khi qua xử lý:



Hình 74. RMSE giữa tín hiệu gốc và tín hiệu sau khi xử lý theo sự thay đổi khoảng cách góc giữa các tín hiệu.

Nhận xét: Khi bắt đầu giảm khoảng cách góc giữa tín hiệu mong muốn và can nhiễu, RMSE cũng tăng dần lên, thể hiện sự sai lệch giữa tín hiệu tại ngõ ra và tín hiệu mong muốn. Đặc biệt, với khoảng cách góc đủ lớn (trên 6°) thì RMSE không đổi, và mặc dù can nhiễu và tín hiệu mong muốn càng gần nhau (dưới 4°), RMSE tăng không đáng kể. Đây là điểm cải thiện so với giải thuật LCMV.

- b) Giữa tín hiệu sau khi qua xử lý và tín hiệu trộn tại ngõ vào bộ lọc:



Hình 75. RMSE giữa tín hiệu sau khi xử lý và tín hiệu trộn tại ngõ vào bộ lọc theo sự thay đổi khoảng cách góc giữa các tín hiệu.

Nhận xét: RMSE giữa tín hiệu tại ngõ ra và tín hiệu trộn gần như là cố định 1 khoảng 0.44288, chứng tỏ giải thuật có tính ổn định rất cao mặc dù khoảng cách góc giảm đi, can nhiễu càng gần tín hiệu mong muốn. Kết hợp với kết quả ở trên, cho thấy giải thuật rất tốt trong việc triệt can nhiễu từ tín hiệu trộn và cho ra tín hiệu rất tương đồng với tín hiệu mong muốn.

c) Nhận xét chung:

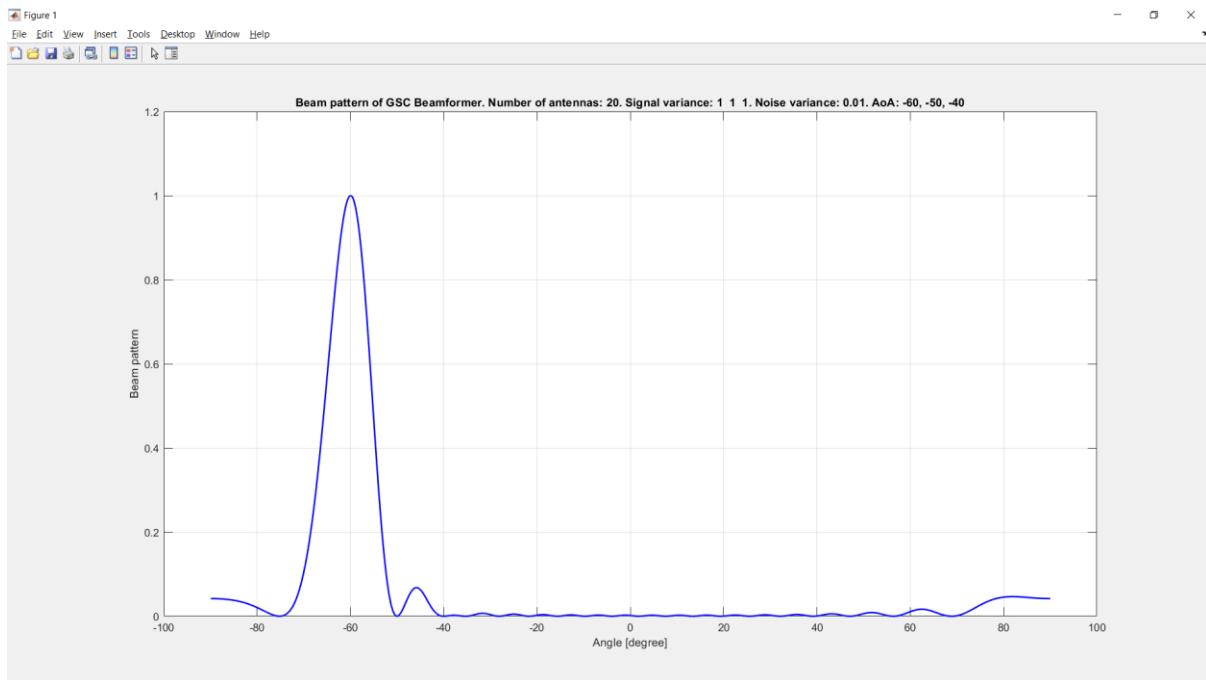
Khi khoảng cách góc giữa các hướng của tín hiệu mong muốn và tín hiệu can nhiễu càng gần nhau, thì việc xử lý tín hiệu càng trở nên phức tạp, khó để tối ưu tín hiệu mong muốn hơn. Tuy nhiên với GSC, RMSE hầu như không đổi, có giá trị ổn định, đây là điểm tối ưu hơn so với LCMV, cho thấy giải thuật này xử lý tốt hơn và ổn định hơn.

III.2.3. Thay đổi phương sai nhiễu (noise variance):

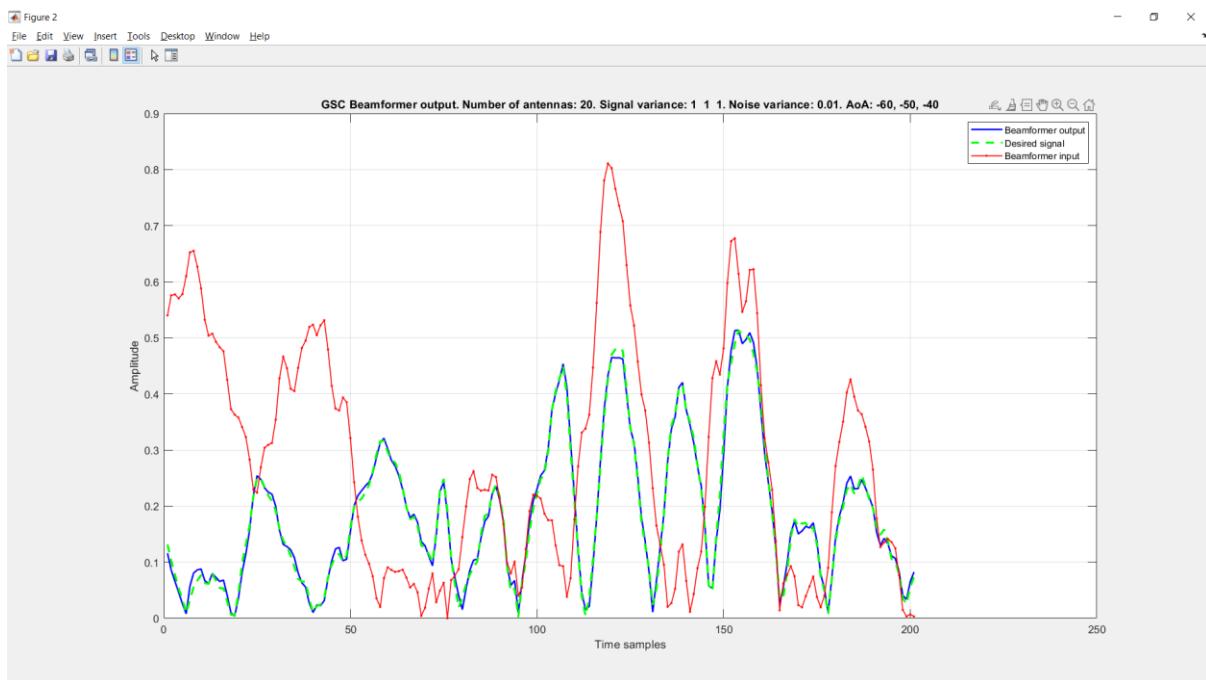
Để thuận tiện cho việc quan sát sự hiệu quả của giải thuật, ta cần chú ý vào tham số Root Mean-square Error (RMSE) và quan sát đồ thị tuyến tính cùng đồ thị so sánh tín hiệu mong muốn và ngõ ra của các trường hợp.

Thay đổi phương sai nhiễu $nv = 0.01, 0.1, 1$ rồi quan sát kết quả:

- ❖ Đồ thị tuyến tính, đồ thị so sánh giữa các tín hiệu và RMSE tương ứng:
- a) $nv = 0.01$:



Hình 76. Đồ thị tần số của giải thuật với $nv = 0.01$.

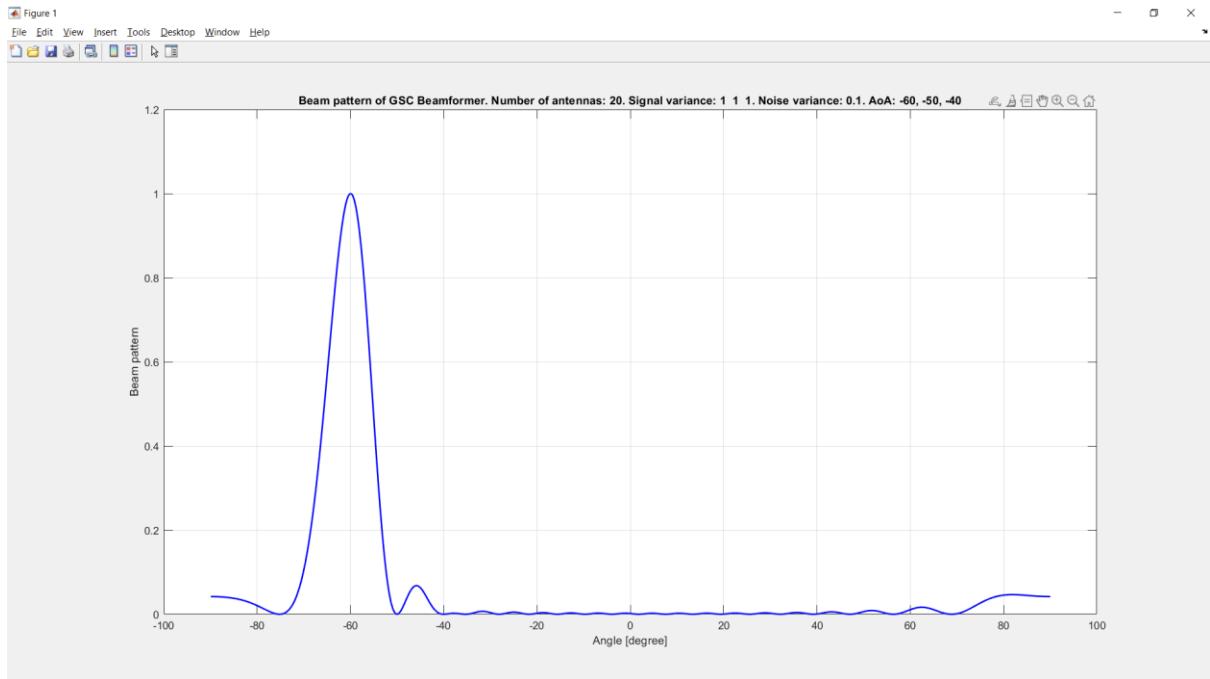


Hình 77. Đồ thị so sánh tín hiệu trộn tại ngõ vào, tín hiệu mong muốn và tín hiệu sau khi xử lý tại ngõ ra với $nv = 0.01$.

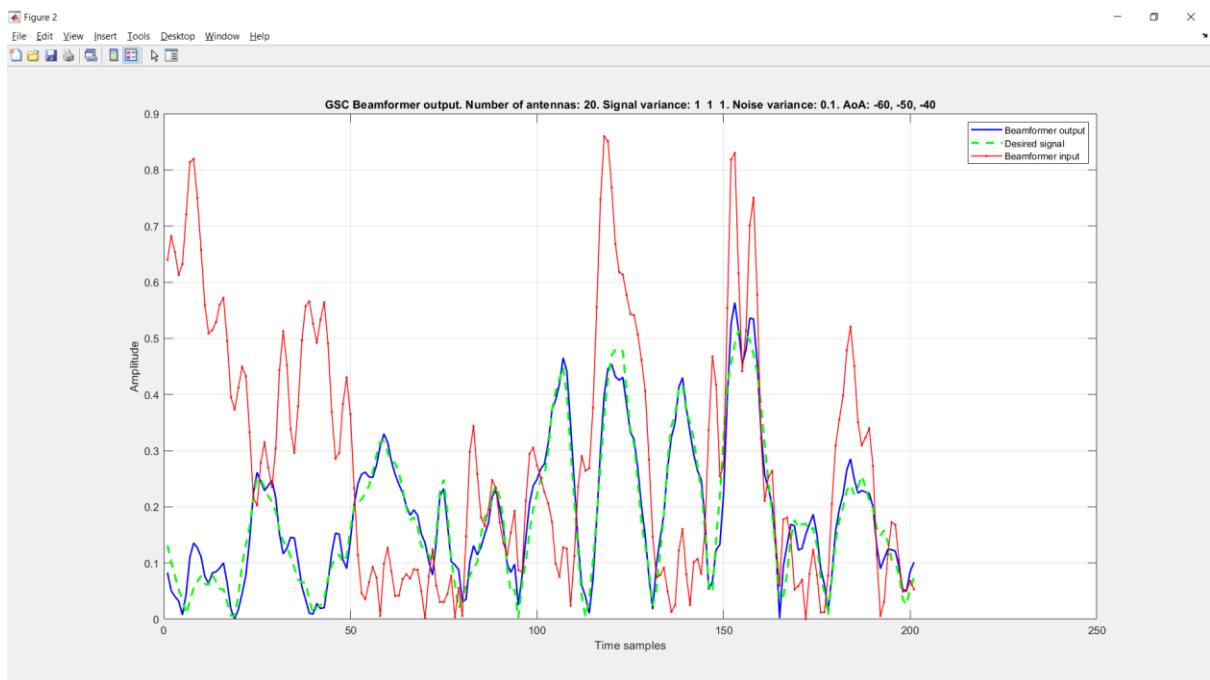
$RMSE = 0.013161$.

Nhận xét: Với phương sai nhiễu nhỏ, khả năng xử lý của bộ lọc tốt, bằng chứng là búp sóng chính ở góc của hướng tới tín hiệu mong muốn và các điểm null (điểm không) ở góc của hướng tới can nhiễu. RMSE cũng rất nhỏ cho thấy sự tương đồng lớn giữa tín hiệu tại ngõ ra (màu xanh) và tín hiệu mong muốn (màu lục).

b) $nv = 0.1$:



Hình 78. Đồ thị tần số của giải thuật với $nv = 0.1$.



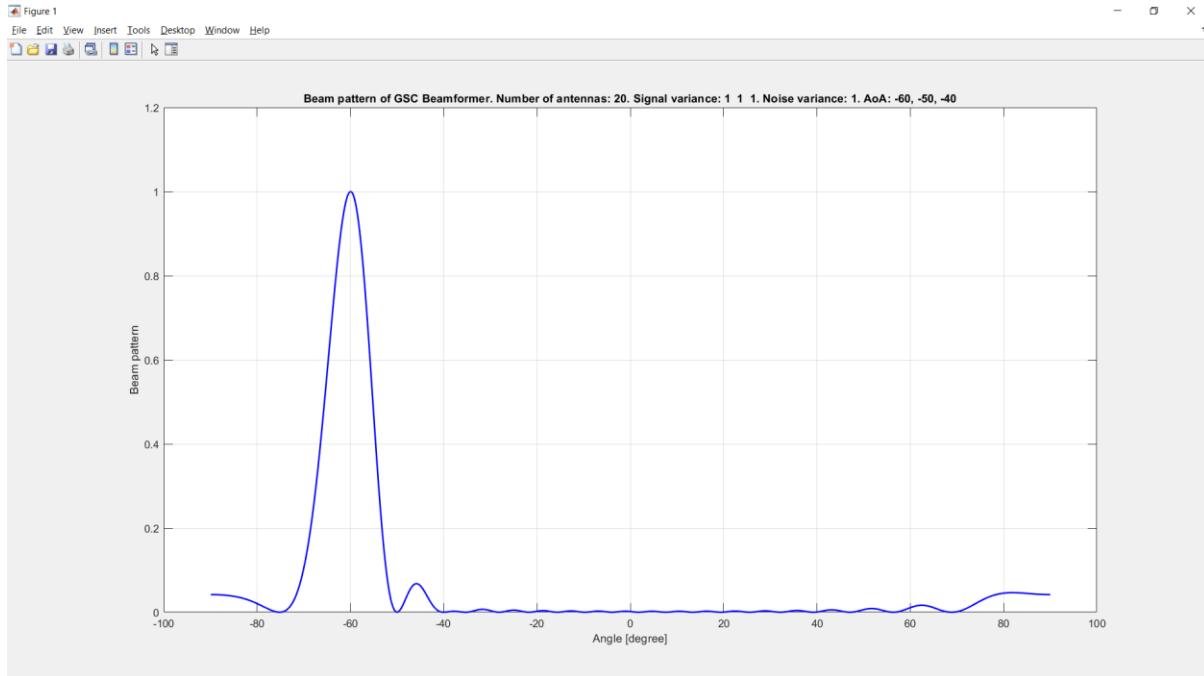
Hình 79. Đồ thị so sánh tín hiệu trộn tại ngõ vào, tín hiệu mong muốn và tín hiệu sau khi xử lý tại ngõ ra với $nv = 0.1$.

$RMSE = 0.041618$.

Nhận xét: Khi bắt đầu tăng phương sai nhiễu, sự sai lệch giữa tín hiệu tại ngõ ra và tín hiệu mong muốn bắt đầu xuất hiện. Mặc dù ở đồ thị tần số, góc của búp sóng chính vẫn trùng với góc của hướng tới mong muốn và các điểm null (điểm không) vẫn ở góc

của hướng tới can nhiễu, nhưng có thể thấy sự sai lệch nhiều hơn giữa đồ thị tín hiệu tại ngõ ra (màu xanh) và tín hiệu mong muốn (màu lục). Để nhận thấy nhất chính là sự tăng lên rõ rệt của RMSE.

c) $nv = 1$:



Hình 80. Đồ thị tuyền tính của giải thuật với $nv = 1$.



Hình 81. Đồ thị so sánh tín hiệu trộn tại ngõ vào, tín hiệu mong muốn và tín hiệu sau khi xử lý tại ngõ ra với $nv = 1$.

$RMSE = 0.13161$.

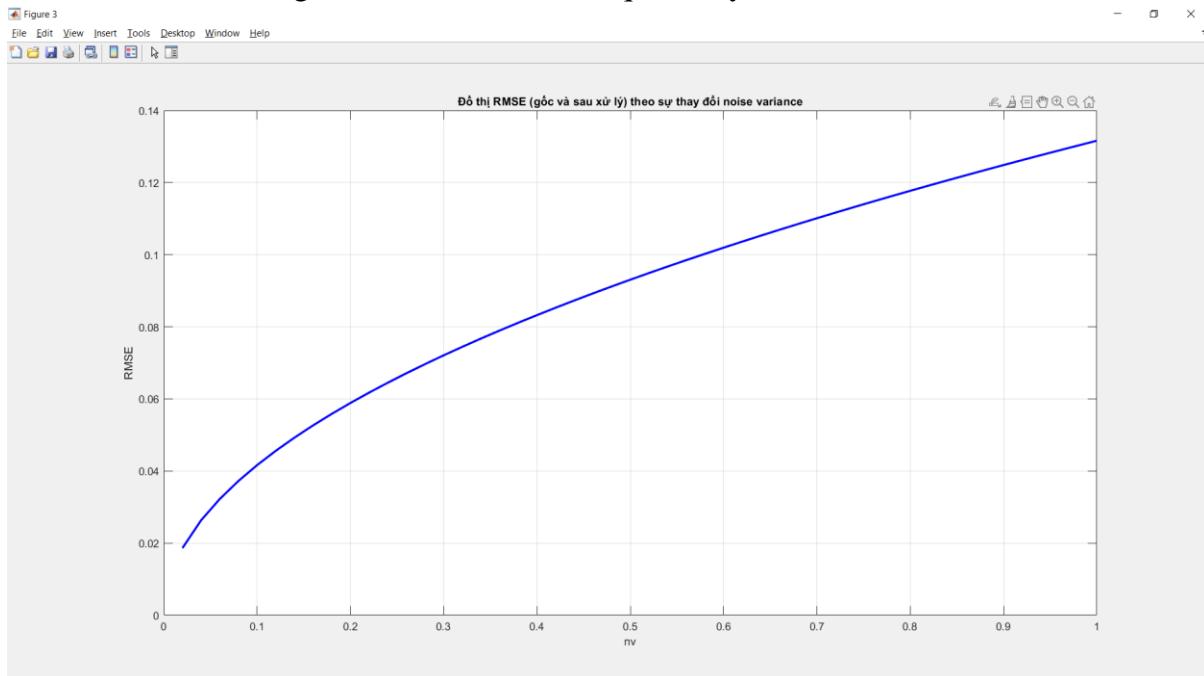
Nhân xét: Khi tăng phương sai nhiễu lớn như vậy, ở đồ thị tuyến tính, góc của búp sóng chính vẫn trùng với góc của hướng tới mong muốn, và góc của các điểm null (điểm không) cũng trùng với góc của hướng tới can nhiễu. Tuy nhiên sự sai lệch giữa đồ thị tín hiệu tại ngõ ra (màu xanh) và tín hiệu mong muốn (màu lục) tăng lên rất nhiều và RMSE cũng tăng lên rất đáng kể.

d) Nhận xét chung:

Sự thay đổi của phương sai nhiễu ít có ảnh hưởng tới đồ thị tuyến tính, tín hiệu mong muốn vẫn được tối ưu và các can nhiễu cũng được triệt tiêu. Tuy nhiên, RMSE lại có sự thay đổi rõ rệt. Phương sai nhiễu càng tăng thì RMSE càng tăng, đây vẫn là một điểm đáng lưu ý trong xử lý tín hiệu.

❖ Sự thay đổi RMSE theo sự thay đổi của phương sai nhiễu:

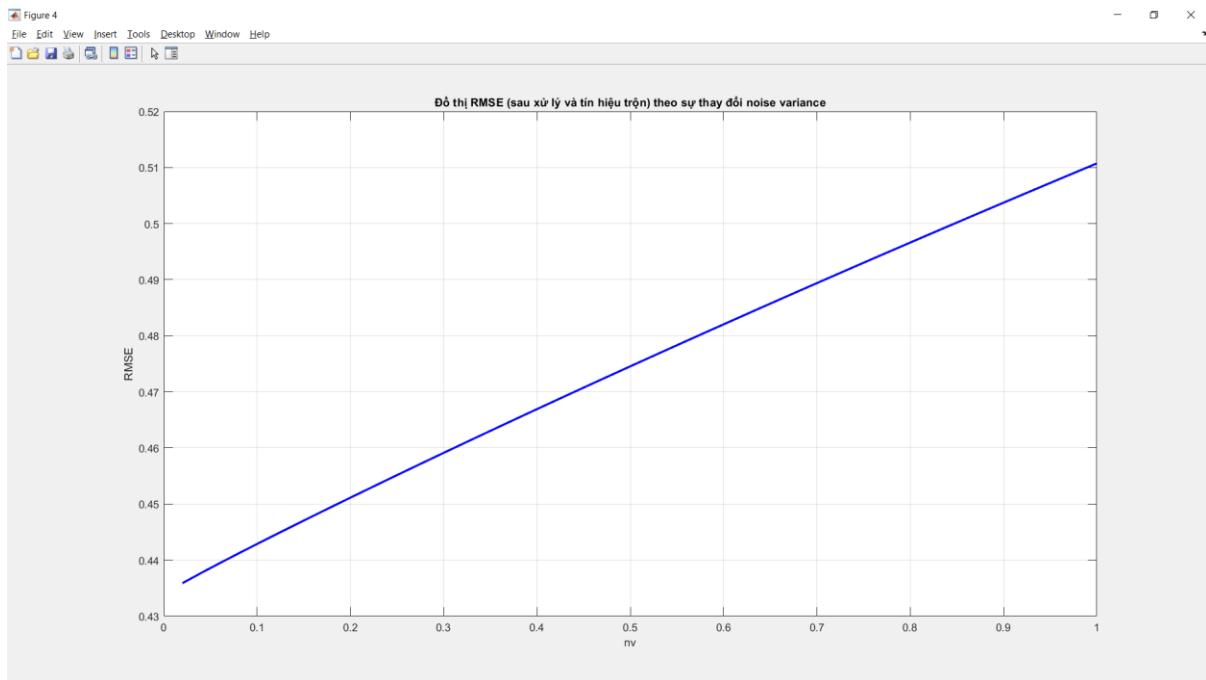
a) Giữa tín hiệu gốc và tín hiệu sau khi qua xử lý:



Hình 82. RMSE giữa tín hiệu gốc và tín hiệu trộn sau khi xử lý theo sự thay đổi phương sai nhiễu.

Nhân xét: Khi phương sai nhiễu tăng, RMSE cũng tăng lên rõ rệt, tín hiệu tại ngõ ra càng sai lệch so với tín hiệu mong muốn.

b) Giữa tín hiệu sau khi qua xử lý và tín hiệu trộn tại ngõ vào bộ lọc:



Hình 83. RMSE giữa tín hiệu sau khi xử lý và tín hiệu trộn tại ngõ vào bộ lọc theo sự thay đổi phương sai nhiễu.

Nhận xét: Khi tăng phương sai nhiễu, sự sai lệch giữa tín hiệu tại ngõ ra sau khi xử lý và tín hiệu trộn tại ngõ vào cũng tăng. Mặc dù vậy, từ kết quả ở trên, có thể thấy sự sai lệch tín hiệu tại ngõ ra và tín hiệu mong muốn cũng tăng lên. Điều này chứng tỏ, phương sai nhiễu ít ảnh hưởng đến việc triệt các can nhiễu, mà chỉ ảnh hưởng đến khả năng lọc nhiễu của giải thuật.

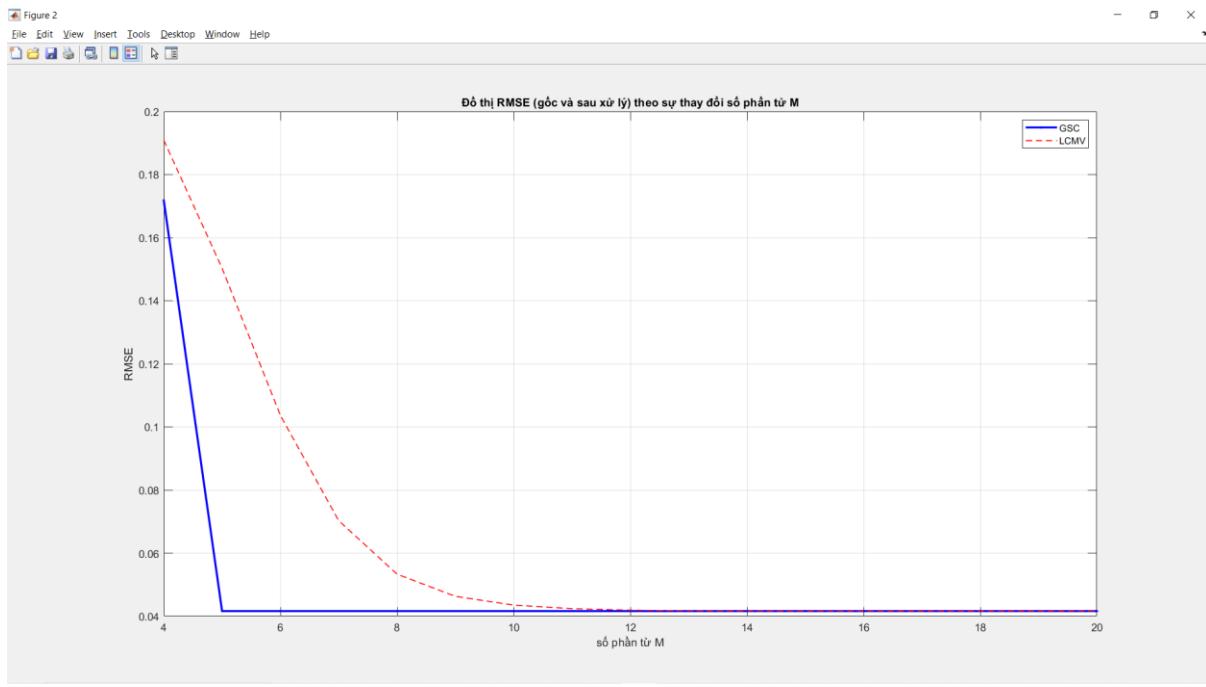
c) Nhận xét chung:

Khi phương sai nhiễu càng tăng thì RMSE càng tăng. Mặc dù RMSE vẫn còn khá nhỏ ($RMSE \approx 0.13$ với $nv = 1$ khi so sánh giữa tín hiệu gốc và tín hiệu sau xử lý), chứng tỏ giải thuật có hiệu quả cao trong việc triệt can nhiễu và tối ưu tín hiệu mong muốn. Mặc dù sự thay đổi của phương sai nhiễu cũng ít ảnh hưởng đến khả năng triệt can nhiễu, nhưng đây vẫn là một thông số cần phải lưu ý trong quá trình xử lý tín hiệu.

III.3. Tổng quát về hai giải thuật:

Thực hiện so sánh giữa 2 giải thuật dựa trên bài toán đã nêu trên:

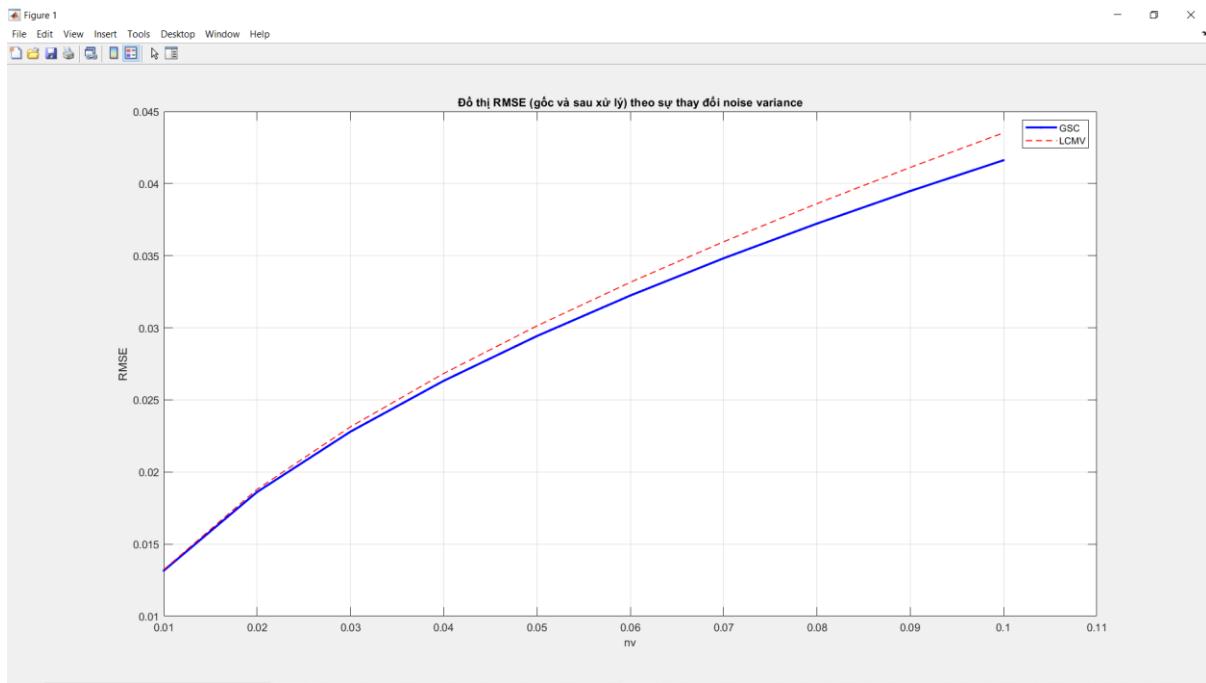
- ❖ RMSE (tín hiệu gốc và sau khi xử lý) của GSC và LCMV khi thay đổi số phần tử an-ten M :



Hình 84. RMSE giữa tín hiệu gốc và tín hiệu sau khi xử lý của GSC và LCMV theo sự thay đổi số phần tử M.

Nhân xét: Khi số phần tử an-ten M tăng, RMSE của hai giải thuật đều giảm. Đặc biệt, RMSE hầu như không đổi khi số phần tử M đạt đến số lượng nhất định. Tuy nhiên, so sánh giữa hai giải thuật, GSC sẽ cho RMSE nhỏ hơn và ổn định hơn rất nhiều so với LCMV.

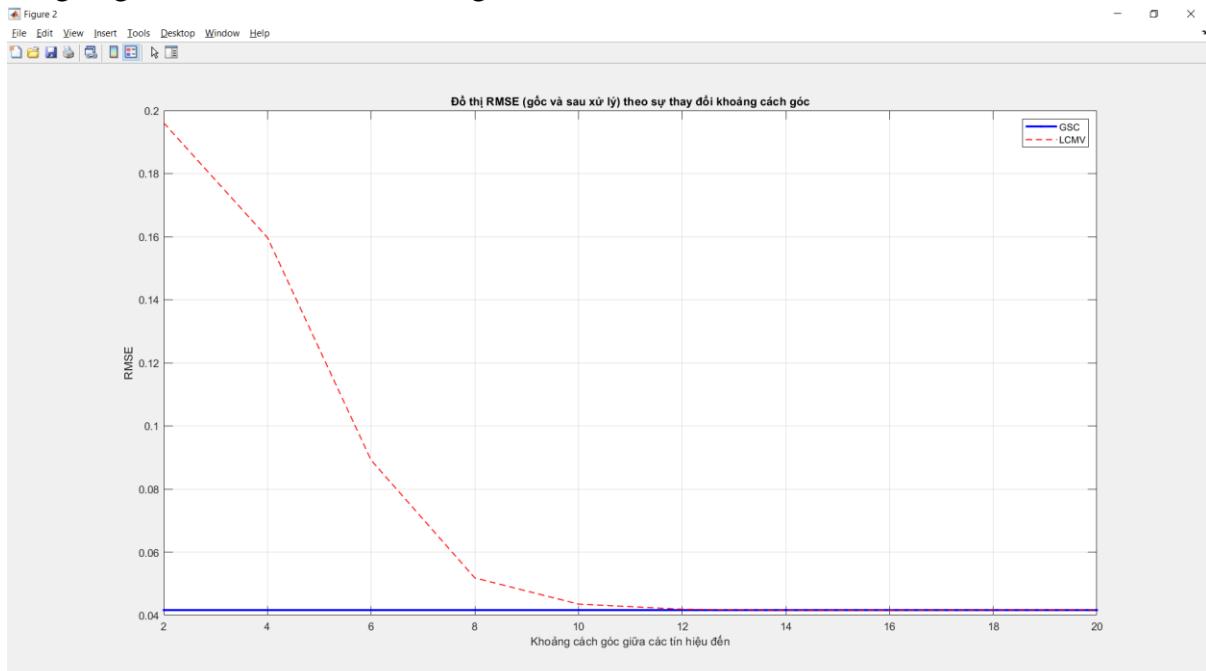
- ❖ RMSE (tín hiệu gốc và sau khi xử lý) của GSC và LCMV khi thay đổi phương sai nhiễu:



Hình 85. RMSE giữa tín hiệu gốc và tín hiệu sau khi xử lý của GSC và LCMV theo sự thay đổi phương sai nhiễu.

Nhân xét: Khi tăng phương sai nhiễu, sự sai lệch giữa tín hiệu tại ngõ ra sau khi xử lý và tín hiệu trộn tại ngõ vào cũng tăng, biểu thị qua việc RMSE tăng dần. Tuy nhiên, giải thuật GSC cho RMSE tăng ít hơn so với LCMV, cho thấy giải thuật này tối ưu hơn.

- ❖ RMSE (tín hiệu gốc và sau khi xử lý) của GSC và LCMV khi thay đổi khoảng cách gốc giữa các tín hiệu đến tại ngõ vào:



Hình 86. RMSE giữa tín hiệu gốc và tín hiệu sau khi xử lý của GSC và LCMV theo sự thay đổi khoảng cách gốc giữa các tín hiệu ngõ vào.

Nhân xét: Khi khoảng cách góc giữa các tín hiệu tại ngõ vào giảm dần, việc loại bỏ can nhiễu và cho ra tín hiệu tương đồng với tín hiệu mong muốn càng khó hơn, biểu thị qua sự khác biệt giữa tín hiệu tại ngõ ra và tín hiệu mong muốn gốc. Với GSC, sự khác biệt này luôn rất nhỏ và ổn định ($RMSE = 0.041618$) dù giảm dần khoảng cách góc đi rất nhỏ, trong khi với giải thuật LCMV, sự khác biệt này bắt đầu tăng lên khi khoảng cách góc càng nhỏ đi, đặc biệt khi khoảng cách góc nhỏ hơn 10° . Điều này cho thấy GSC là giải thuật tối ưu hơn cho việc xử lý tín hiệu.

Bản chất của giải thuật LCMV là giảm thiểu công suất ngõ ra trung bình, tuân theo một tập hợp các ràng buộc tuyến tính trên vector trọng số. Các ràng buộc được đặt ra để ngăn vector trọng số hủy bỏ tín hiệu mong muốn. Để đáp ứng yêu cầu của nhiều ràng buộc, có thể sử dụng bộ triệt các búp sóng bên tổng quát (GSC) có vector trọng số được tách thành hai phần:

- Một vector trọng số tĩnh, thỏa mãn các ràng buộc quy định.
- Một vector trọng số không bị ràng buộc, việc tối ưu hóa vector trọng số này, theo lý thuyết bộ lọc Wiener, sẽ giảm thiểu ảnh hưởng của nhiễu tại ngõ vào phía thu và các tín hiệu can nhiễu.

Khi so sánh giữa hai giải thuật, dựa vào việc thay đổi số lượng phần tử M , khoảng cách góc giữa các hướng tới của tín hiệu mong muốn và các can nhiễu, phương sai của nhiễu tại ngõ vào, có thể dễ dàng nhận thấy giải thuật GSC sẽ tối ưu tín hiệu mong muốn tốt hơn với bản chất giải thuật là triệt tiêu hoàn toàn các búp phụ, qua đó ngõ ra chỉ xuất hiện tín hiệu tương đồng với tín hiệu mong muốn thu được, trong khi LCMV là triệt tiêu hết mọi búp và tránh triệt tiêu tại hướng tới mong muốn dựa vào ràng buộc tuyến tính tại ngõ vào.[1]

KẾT LUẬN

Bộ lọc thích nghi tuyển tính luôn là một vấn đề quan trọng trong xử lý tín hiệu số. Với khả năng xử lý các tín hiệu tới thay đổi liên tục tốt hơn rất nhiều so với các phương pháp truyền thống nhờ vào việc điều chỉnh bộ trọng số thích hợp theo các tiêu chí và ràng buộc mong muốn, bộ lọc thích nghi đã được ứng dụng thành công trong hệ thống truyền thông của nhiều lĩnh vực đa dạng như thông tin liên lạc, điều khiển, radar, sóng siêu âm, địa chấn và kỹ thuật y sinh, cùng nhiều lĩnh vực khác.

Sau khoảng thời gian nghiên cứu, đồ án đã tóm gọn đầy đủ về cơ sở lý thuyết bộ lọc tuyển tính thời gian rời rạc, qua đó phát triển hai thuật toán tối ưu việc thu tín hiệu mong muốn và triệt các can nhiễu là “bộ lọc tối thiểu phương sai có ràng buộc tuyển tính LCMV” và “bộ triệt các búp bên tổng quát GSC”, cải thiện khả năng xử lý tín hiệu của hệ thống. Với góc nhìn rộng và đầy đủ về hai thuật toán trên, tùy vào các điều kiện khác nhau mà chúng ta có thể chọn được thuật toán phù hợp nhằm tối ưu cho việc thiết kế hệ thống an-ten.

Với các ưu điểm của mình, bộ lọc thích nghi tuyển tính sử dụng các giải thuật tối ưu tín hiệu mong muốn đã được ứng dụng trong nhiều lĩnh vực, đặc biệt là trong các hệ thống truyền thông không dây, góp phần đưa nền công nghệ thế giới ngày càng phát triển, đến gần hơn với công nghệ 5G và xa hơn nữa.

Mặc dù đã rất cố gắng trong việc nghiên cứu và thực hiện đồ án, nhưng do thời gian và hiểu biết còn hạn chế nên đồ án chỉ dừng lại ở mức tìm hiểu về bộ lọc thích nghi tuyển tính thời gian rời rạc với trọng tâm là phát triển hai thuật toán tối ưu tín hiệu mong muốn, mà chưa kịp triển khai ứng dụng vào thực tế bởi việc này cần thêm nhiều kiến thức, hiểu biết ở các lĩnh vực công nghệ khác nhau. Đồng thời, đồ án chắc chắn cũng không tránh khỏi những thiếu sót, nên em rất mong nhận được ý kiến đóng góp từ thầy.

Em xin chân thành cảm ơn!

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Simon Haykin, “Adaptive Filter Theory”, 5th edition, Pearson Education, 2014.

PHỤ LỤC

Code thực hiện cho giải thuật GSC:

```
%testGSC
%dữ liệu nhập vào cho lập trình
M = 20;
g = [0;0;0];
theta = [-60;-50;-40];
theta0 = -60;
sv = [1, 1, 1];
nv = 1;
for i=1:length(theta)
    if theta(i)==theta0
        chiso = i;
    end;
end;
g(chiso) = 1;
%lấy tín hiệu âm thanh vào
[data, fs] = audioread('nhac.mp3');
[tapam1, fs1] = audioread('tapam1.mp3');
[tapam2, fs2] = audioread('tapam2.mp3');

%xác định N
N = length(data);

%xử lý tín hiệu âm thanh vào
kenhtraidata = data(:, 1); %chỉ lấy kênh trái của data
kenhtraitapam1 = tapam1(:, 1);
kenhtraitapam2 = tapam2(:, 1);

%đưa tín hiệu các âm thanh về cùng độ dài snapshot N
kenhtraidata = kenhtraidata(1:N);
kenhtraitapam1 = kenhtraitapam1(1:N);
kenhtraitapam2 = kenhtraitapam2(1:N);
input =
[transpose(kenhtraidata);transpose(kenhtraitapam1);transpose(kenhtraitapam2)];

%thu nhiễu
nhieu = audioread('tiengmuaro.mp3');
kenhtrainhieu = nhieu(:,1);
kenhtrainhieu = kenhtrainhieu(1:N);
nhieu = transpose(kenhtrainhieu);
giatrichuanhoa = max(abs(nhieu));
nhieuchuanhoa = nhieu ./ giatrichuanhoa;

d=length(theta);
C = []; %ma trận C của vector lái (ma trận ràng buộc tuyến tính)
A=[];
a=[1];
a0=[1];
U=[];
Utotal=zeros(N,M);
Mx=zeros(N,1);
Rs=zeros(M);%signal correlation matrix
if nv==0
    nv1=0.00001;
else
```

```

        nv1=nv;
end;
noise=sqrt(nv1).*nhieuchuanhoa;%noise
Rn=nv1*eye(M);%noise correlation matrix
delta=0.5;% inter-element spacing over wavelength

%Find steering vectors and correlation matices
for jj=1:d
    for i=1:(M-1)
        a=[a exp(-1j*i*2*pi*delta*sin(theta(jj)*pi/180))];%steering vector
    end
if jj == chiso
    vectorlai = a;
    disp('Âm thanh cần phải thu');
    soundsc(transpose(input(jj, :)),fs);
    %biểu diễn tín hiệu gốc data
    figure;
    t = (1:N)/fs;
    plot(t, transpose(input(jj, :)), 'color', 'b');
    xlabel('Thời gian (giây)');
    ylabel('Biên độ');
    title('Đồ thị tín hiệu âm thanh cần thu');
    grid;
end;
u= sqrt(sv(jj)).*input(jj, :);
u = imresize(u, [1, N]);
U=[U,transpose(u)];%matrix of beamformer inputs
Mx=Mx+transpose(u+noise);%mixed beamformer inputs plus noise
uu=transpose(u+noise)*a;%outter product giving a NxM matrix
Utotal=Utotal+uu;
a=transpose(a);
C = [C,a];
Rs=Rs+[a*sv(jj)*ctranspose(a)];
a=[1];
end;
%tin hieu tron lai mix
mix = transpose(Mx);
pause(10);
disp('Âm thanh tại ngõ tới có cả nhiễu và can nhiễu');
soundsc(real(mix), fs);
figure;
t = (1:N)/fs;
plot(t, mix, 'color', 'r');
xlabel('Thời gian (giây)');
ylabel('Biên độ');
title('Đồ thị tín hiệu âm thanh trộn với tạp âm và nhiễu');
grid;
%Find total correlation matrix
R=Rs+Rn;%total correlation matrix

%Tìm ma trận Ca:
Ca = null(ctranspose(C));

%Find optimum weight vector
wq = C*pinv(ctranspose(C)*C)*g;
wao = pinv(ctranspose(Ca)*R*Ca)*ctranspose(Ca)*R*wq;
wopt = wq - Ca*wao;

%Plot beam-pattern

```

```

aa=[1];
r=0.1; %Angle resolution, [deg.]
Cout = [];
for k=1:180/r;
th(k)=-90+k*r;
for i=1:(M-1)
aa=[aa exp(-1j*i*2*pi*delta*sin(th(k)*pi/180))];%steering vector
end
aa=transpose(aa);
Cout = [Cout, aa];
aa=[1];
end;
g_out = ctranspose(Cout)*wopt;
figure;
plot([-90:r:90],(abs(g_out).^2),'b','LineWidth',1.5);
xlabel('Angle [degree]');ylabel('Đồ thị tuyến tính');
title(['Đồ thị tuyến tính of GSC Beamformer. Number of antennas: ',num2str(M),'. Signal variance: ', num2str(sv), '. Noise variance: ', num2str(nv), '. AoA: -60, -50, -40']);
grid;
%Plot beamformer output
yy=[];
y=ctranspose(wopt)*transpose(Utotal);
yy=[yy,y];
k=find(theta==theta0);
startindex = floor(N/2);
endindex = startindex + 200;
yyplot = yy(startindex:endindex);
Mxplot = Mx(startindex:endindex);
signaloutput = U(:,k);
signaloutputplot = signaloutput(startindex:endindex);
figure;
plot(abs(yyplot),'b','LineWidth',1.5);hold;
plot(abs(signaloutputplot),'g--','LineWidth',2);
plot(abs(Mxplot),'r.-','LineWidth',1);hold
xlabel('Time samples');ylabel('Amplitude');title(['GSC Beamformer output. Number of antennas: ',num2str(M),'. Signal variance: ', num2str(sv), '. Noise variance: ', num2str(nv), '. AoA: -60, -50, -40']);
legend('Beamformer output','Desired signal','Beamformer input');
grid;
plot output signal
figure;
t = (1:N)/fs;
plot(t, transpose(yy), 'color', 'g');
xlabel('Thời gian (giây)');
ylabel('Biên độ');
title('Đồ thị tín hiệu âm thanh sau khi xử lý');
grid;
soundgora = real(transpose(yy));
pause(10);
disp('Âm thanh sau khi xử lý');
soundsc(soundgora, fs);
%Calculate Root Mean Square Error
output = yy;
desired = U(:,k);
e = output - transpose(desired);
MSE = abs(e).^2;
rmse = sqrt(sum(MSE)*(1/N));
disp(['rmse for nv = ', num2str(nv), ' is: ', num2str(rmse)]);
disp('Kết thúc xử lý');

```