

TỐI ƯU HIỆN THỰC THUẬT TOÁN GIẢI MÃ TÍN HIỆU MIMO CHO HỆ THỐNG WLAN 802.11 AC

Lâm Đức Khải¹, Vũ Văn Mạnh¹, Nguyễn Ngọc Tiến¹

¹ Đại học Công nghệ thông tin, Đại học Quốc gia Tp. HCM

khaild@uit.edu.vn, 13520495@gm.uit.edu.vn, 13520879@gm.uit.edu.vn

TÓM TẮT: Bài báo này trình bày phương pháp cải tiến việc hiện thực thuật toán giải mã tín hiệu Multiple Input-Multiple Output (MIMO) cho hệ thống WLAN 802.11ac. Dựa trên nền tảng thuật toán K-Best gốc, công trình nghiên cứu này cải tiến phương pháp tính khoảng cách và phương pháp sắp xếp thứ tự nhằm giảm độ phức tạp của việc tính toán giải thuật để tăng tốc độ xử lý và giảm tài nguyên phần cứng nhưng vẫn đảm bảo được tỉ lệ lỗi giải mã tín hiệu không bị suy hao đáng kể so với các phương pháp hiện hữu như Minimum mean square error (MMSE) và K-Best gốc. Kết quả mô phỏng chứng minh rằng giải pháp đề xuất giúp giảm độ phức tạp hơn 90% của việc tính toán giải thuật nhưng tỉ lệ lỗi suy hao chỉ 0.5 dB so với giải thuật K-Best gốc và cải thiện hơn rất nhiều so với giải thuật MMSE.

Từ khóa: MIMO, WLAN, MLD, Full K-Best..

I. GIỚI THIỆU

Hiện nay trong các hệ thống mạng giao tiếp không dây, chuẩn WLAN 802.11ac cung cấp giải pháp cho các hệ thống giao tiếp tốc độ cao lên đến 6.9 Gbps [1]. Để đạt được tốc độ như vậy, nhiều kỹ thuật mới về giải mã tín hiệu được nghiên cứu và tích hợp vào hệ thống như MIMO và Multiple User MIMO (MU-MIMO). Đối với hệ thống MIMO, thì tại một thời điểm trên kênh truyền chỉ một Access Point (AP) và một Station (STA) giao tiếp được với nhau, tuy nhiên trên mỗi AP và STA có thể có nhiều anten và các anten này có thể truyền các luồng dữ liệu khác nhau từ AP đến STA trong cùng một thời điểm để tăng tốc độ truyền dữ liệu. Đối với hệ thống MU-MIMO, thì ngoài khả năng giống như hệ thống MIMO thì nó còn cho phép trong một thời điểm trên kênh truyền một AP có thể giao tiếp được với nhiều STA. Như vậy, trong hệ thống MIMO hoặc hệ thống MU-MIMO thì kỹ thuật giải mã tín hiệu MIMO đều có vai trò quan trọng nhằm làm tăng tốc độ truyền dữ liệu. Trong giới hạn của bài báo này, một phương pháp cải tiến kỹ thuật giải mã tín hiệu MIMO sẽ được trình bày.

Các tín hiệu được truyền đồng thời trong hệ thống MIMO trên các anten khác nhau có thể giống nhau nhằm làm tăng độ lợi về hướng truyền để chống lại sự sai lệch của tín hiệu nhận được tại đầu thu gây ra bởi tác động của nhiễu trên môi trường truyền (Diversity Gain) hoặc có thể khác nhau nhằm làm tăng độ lợi về ghép kênh (Spatial Multiplexing Gain) để tăng tốc độ truyền dữ liệu của hệ thống. Kỹ thuật giải mã tín hiệu MIMO là kỹ thuật nhằm xóa bỏ sự giao thoa của tín hiệu nhận trên anten này lên tín hiệu nhận trên anten khác tại đầu thu khi chúng được truyền đồng thời, bên cạnh đó kỹ thuật này cũng nhằm xóa bỏ tác động của nhiễu trên môi trường truyền.

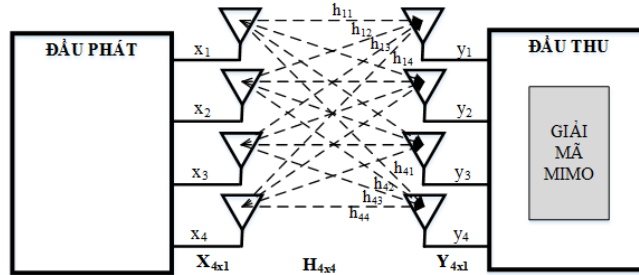
Nhiều kỹ thuật giải mã tín hiệu MIMO đã và đang được nghiên cứu bởi nhiều nhóm tác giả trên thế giới. Kỹ thuật giải mã Zero-Forcing (ZF) [2] và Minimum Mean Square Error (MMSE) [3] cung cấp giải pháp tính toán đơn giản, tuy nhiên tỉ lệ lỗi bit (Bit Error Rate – BER) tại đầu thu ở mức chấp nhận tương đối. Để tối ưu BER tại đầu thu, kỹ thuật giải mã Maximum Likelihood Decoder (MLD) được sử dụng [4]. Kỹ thuật MLD được thực hiện bởi hai bước – Bước 1: Tìm khoảng cách từ dữ liệu thu đến các điểm chòm sao; Bước 2: Tìm khoảng cách nhỏ nhất để xác định điểm chòm sao tương ứng chính là dữ liệu mong muốn. Với một hệ thống MIMO gồm N luồng truyền tín hiệu và W điểm chòm sao sử dụng điều chế/giải điều chế tín hiệu thì bước 1 cần thực hiện W^N phép toán để tìm các khoảng cách tương ứng và bước 2 cần thực hiện sắp xếp W^N giá trị khoảng cách để tìm ra khoảng cách nhỏ nhất. Như vậy, kỹ thuật MLD cần số lượng tính toán rất lớn và xử lý việc sắp xếp cũng rất phức tạp. Bên cạnh đó, khối lượng tính toán của giải thuật MLD sẽ tăng theo hàm số mũ khi số điểm chòm sao (constellation points) sử dụng điều chế/giải điều chế tín hiệu và luồng tín hiệu truyền giữa bộ thu và bộ phát tăng. Vì những lý do đó tốc độ xử lý của kỹ thuật MLD chậm và tiêu tốn tài nguyên phần cứng. Để làm giảm khối lượng tính toán của giải thuật MLD mà độ suy hao của BER không giảm đáng kể, kỹ thuật K-Best [5] được đề xuất. Với kỹ thuật K-Best thì bước 1 và bước 2 được thực hiện N lần, trong mỗi lần số phép tính để tìm khoảng cách chỉ còn là KxW và chỉ cần thực hiện việc sắp xếp một dãy KxW giá trị khoảng cách.

Mặc dù kỹ thuật K-Best cung cấp giải pháp cải thiện độ phức tạp so với kỹ thuật MLD, tuy nhiên khi giá trị W lớn được sử dụng trong hệ thống WLAN 802.11ac, chẳng hạn như $W = 256$ thì số phép tính và việc sắp xếp khoảng cách cũng còn lớn dẫn đến tốc độ xử lý của kỹ thuật này sẽ chậm. Để khắc phục điểm yếu này, bài báo sẽ cung cấp hai giải pháp nhằm làm giảm độ phức tạp của việc tính toán và việc sắp xếp các khoảng cách để cải thiện tốc độ xử lý của giải thuật. Thứ nhất đó là giải pháp sắp xếp W giá trị tăng dần dựa trên mặt phẳng I-Q, thứ hai đó là giải pháp chọn K giá trị nhỏ nhất dựa trên sắp xếp bằng hai chiều. Kết quả mô phỏng chứng tỏ rằng hai phương pháp cải tiến này giúp giảm độ phức tạp hơn 90% của việc tính toán giải thuật nhưng tỉ lệ lỗi suy hao chỉ 0.5 dB so với giải thuật K-Best gốc và cải thiện rất nhiều so với giải thuật MMSE.

Phần tiếp theo của bài báo này được trình bày như sau: Phần II trình bày về kiến thức nền tảng của giải thuật gốc MLD và K-Best. Phần III trình bày về hai giải pháp nhằm cải tiến độ phức tạp nhằm tăng tốc độ xử lý so với giải thuật gốc K-Best. Phần IV đưa ra kết quả mô phỏng của giải pháp cải tiến, đồng thời so sánh kết quả với các kỹ thuật hiện có để chứng tỏ mức độ cải thiện của giải pháp đề xuất. Phần V nêu kết luận của bài báo nghiên cứu này.

II. KIẾN THỨC NỀN TẢNG

A. Mô hình hệ thống



Hình 1. Mô hình hệ thống thu phát MIMO 4x4 - WLAN

Cho hệ thống WLAN 802.11ac gồm một bộ phát Tx và một bộ thu Rx như trên Hình 1. Tổng quát hóa, bộ phát có N anten phát, bộ thu có M anten thu. Tín hiệu phát ra từ anten phát được ký hiệu bởi $X_{N \times 1} = [x_1 \ x_2 \ \dots \ x_N]^T$ và tín hiệu thu nhận vào anten thu được ký hiệu bởi $Y_{M \times 1} = [y_1 \ y_2 \ \dots \ y_M]^T$. Môi trường truyền tín hiệu giữa bộ phát và bộ thu được mô hình hóa bởi ma trận kênh truyền $H_{M \times N}$, trong đó phần tử $h_{m \times n}$ mô hình cho kênh truyền từ anten phát thứ n đến anten thu thứ m. Ảnh hưởng của nhiễu lên tín hiệu tại anten thu được ký hiệu bởi $N_{M \times 1} = [n_1 \ n_2 \ \dots \ n_M]^T$. Như vậy,

$$Y_{M \times 1} = H_{M \times N} \times X_{N \times 1} + N_{M \times 1} \tag{1}$$

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ \vdots \\ y_M \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{11} & \dots & h_{1N} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ h_{M1} & \dots & h_{MN} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} x_1 \\ \vdots \\ x_N \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} n_1 \\ \vdots \\ n_M \end{bmatrix} \tag{2}$$

Bên cạnh đó, hệ thống WLAN 802.11ac này sử dụng kỹ thuật điều chế QAM – W, với W là số điểm chòm sao trên mặt phẳng I-Q, W có thể là 16, 64, 128, 256.

Mục tiêu của các kỹ thuật giải mã MIMO là khôi phục chính xác tín hiệu phát $X_{N \times 1}$ tại đầu thu dựa vào tín hiệu thu $Y_{M \times 1}$ và kênh truyền $H_{M \times N}$.

Để đơn giản hóa, bài báo này phân tích hệ thống gồm bộ phát và bộ thu có số anten phát và thu bằng nhau và bằng 4, nghĩa là $M = N = 4$.

B. Kỹ thuật MLD

Kỹ thuật MLD được phát triển dựa trên ý tưởng tìm các điểm chòm sao có khoảng cách ngắn nhất từ chúng đến các tín hiệu thu được. Các điểm chòm sao này sẽ được xem như là tín hiệu phát. Đầu tiên, ma trận kênh truyền H được phân tích ra thành hai ma trận $Q \times R$, trong đó Q là ma trận trực giao và R là ma trận tam giác. Kế đến, một ma trận Z được tạo ra bởi hai ma trận $Q^H \times Y$ do đó:

$$Z = R \times X + N' \tag{3}$$

trong đó, $N' = Q^H \times N$. Giá trị mong đợi \hat{X} được xác định bởi:

$$\hat{X} = \underset{X}{\text{arg min}} \|Z - R \times X\|^2 \tag{4}$$

$$\{\hat{x}_1, \hat{x}_2, \hat{x}_3, \hat{x}_4\} = \underset{x_1, x_2, x_3, x_4}{\text{arg min}} \left\| \begin{bmatrix} z_1 \\ z_2 \\ z_3 \\ z_4 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & r_{14} \\ 0 & r_{22} & r_{23} & r_{24} \\ 0 & 0 & r_{33} & r_{34} \\ 0 & 0 & 0 & r_{44} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{bmatrix} \right\|^2 \tag{5}$$

Đặt:

$$D_4 = |z_4 - r_{44} \times x_4|^2 \tag{6}$$

$$D_3 = |z_3 - r_{33} \times x_3 - r_{34} \times x_4|^2 \tag{7}$$

$$D_2 = |z_2 - r_{22} \times x_2 - r_{23} \times x_3 - r_{24} \times x_4|^2 \tag{8}$$

$$D_1 = |z_1 - r_{11} \times x_1 - r_{12} \times x_2 - r_{13} \times x_3 - r_{14} \times x_4|^2 \tag{9}$$

Do đó, từ (5) suy ra:
$$\{\widehat{x}_1, \widehat{x}_2, \widehat{x}_3, \widehat{x}_4\} = \underset{x_1, x_2, x_3, x_4}{arg\ min} (D_4 + D_3 + D_2 + D_1) \tag{10}$$

Như vậy theo biểu thức ở trên sẽ có W^4 giá trị $(D_4 + D_3 + D_2 + D_1)$ tương ứng với W^4 tổ hợp $\{x_1, x_2, x_3, x_4\}$. Tổ hợp giá trị tín hiệu $\{\widehat{x}_1, \widehat{x}_2, \widehat{x}_3, \widehat{x}_4\}$ mong muốn chính là tổ hợp $\{x_1, x_2, x_3, x_4\}$ tạo ra giá trị nhỏ nhất của $(D_4 + D_3 + D_2 + D_1)$.

C. Kỹ thuật K-Best gốc

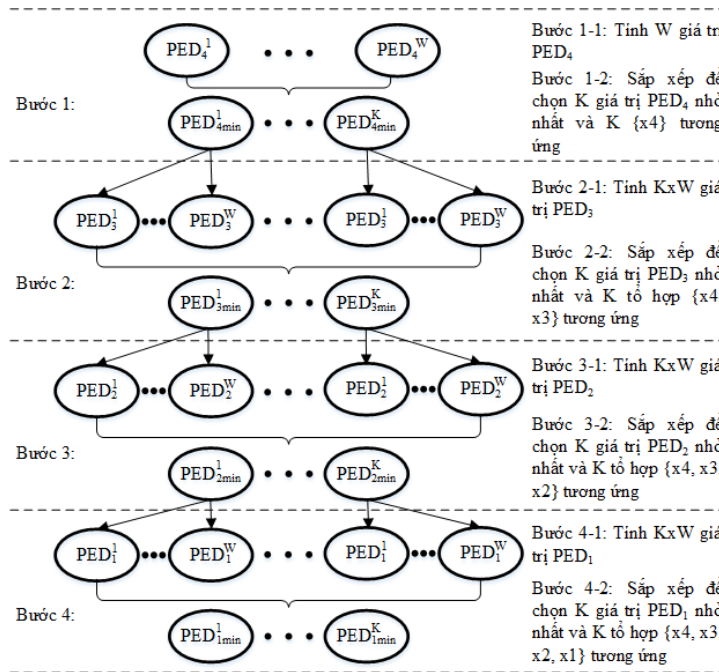
Theo kỹ thuật MLD, W^4 giá trị $(D_4 + D_3 + D_2 + D_1)$ cần được sắp xếp để tìm ra giá trị nhỏ nhất, do đó kỹ thuật này cần một khối lượng tính toán rất lớn và quá trình sắp xếp phức tạp dẫn đến thời gian xử lý chậm. Kỹ thuật K-Best gốc như trình bày trong Hình 2 giúp khắc phục điểm hạn chế này. Trong kỹ thuật này, ta đặt:

$$PED_4 = D_4 \tag{11}$$

$$PED_3 = PED_4 + D_3 \tag{12}$$

$$PED_2 = PED_3 + D_2 \tag{13}$$

$$PED_1 = PED_2 + D_1 \tag{14}$$



Hình 2. Kỹ thuật K-Best gốc

Bước thứ nhất, W giá trị PED_4 được tìm theo công thức (11) tương ứng với W điểm chòm sao x_4 như trong công thức (6). Những giá trị PED_4 này được sắp xếp để tìm ra K giá trị PED_4 nhỏ nhất và K giá trị x_4 tương ứng.

Bước thứ hai, $K \times W$ giá trị PED_3 được tìm theo công thức (12) tương ứng với K giá trị x_4 đã xác định trong bước thứ nhất và W điểm chòm sao x_3 . Những giá trị PED_3 này được sắp xếp để tìm ra K giá trị PED_3 nhỏ nhất và K tổ hợp giá trị $\{x_4, x_3\}$ tương ứng.

Bước thứ ba, $K \times W$ giá trị PED_2 được tìm theo công thức (13) tương ứng với K tổ hợp giá trị $\{x_4, x_3\}$ đã xác định trong bước thứ hai và W điểm chòm sao x_2 . Những giá trị PED_2 này được sắp xếp để tìm ra K giá trị PED_2 nhỏ nhất và K tổ hợp giá trị $\{x_4, x_3, x_2\}$ tương ứng.

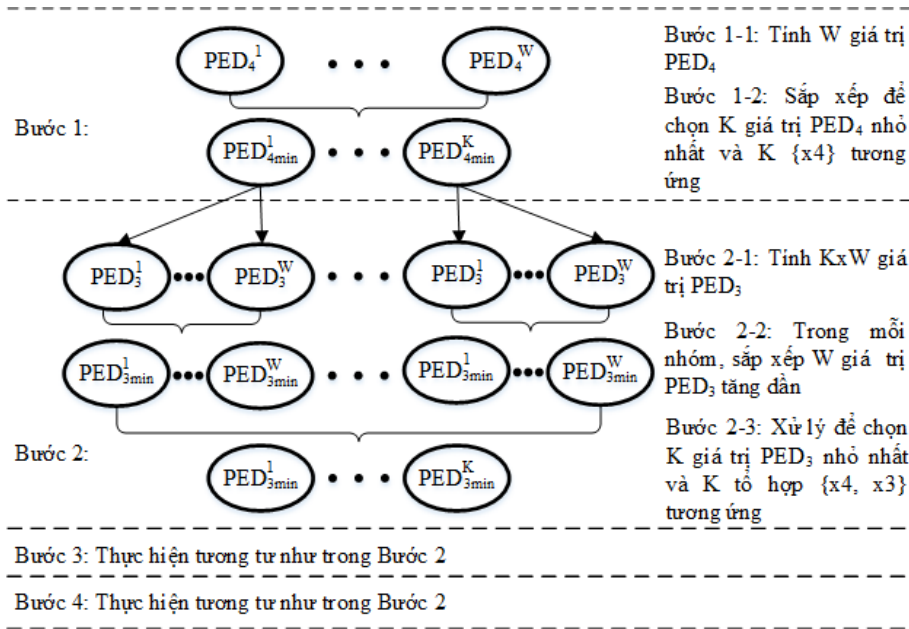
Bước thứ tư, $K \times W$ giá trị PED_1 được tìm theo công thức (14) tương ứng với K tổ hợp giá trị $\{x_4, x_3, x_2\}$ đã xác định trong bước thứ ba và W điểm chòm sao x_4 . Những giá trị PED_1 này được sắp xếp để tìm ra giá trị PED_1 nhỏ nhất và tổ hợp giá trị $\{x_4, x_3, x_2, x_1\}$ tương ứng. Tổ hợp giá trị $\{x_4, x_3, x_2, x_1\}$ này cũng chính là tổ hợp giá trị tín hiệu $\{\widehat{x}_1, \widehat{x}_2, \widehat{x}_3, \widehat{x}_4\}$ mong muốn.

Như vậy, kỹ thuật K-Best giúp làm giảm số lượng tính toán và giảm dãy giá trị cần sắp xếp xuống còn $K \times W$ trong mỗi bước. Tuy nhiên, thời gian xử lý việc sắp xếp $K \times W$ giá trị để lấy ra K giá trị nhỏ nhất trên mỗi bước cũng còn lớn, đồng thời việc sắp xếp này cũng tiêu tốn nhiều tài nguyên phần cứng khi thiết kế do cần tổng cộng là $[(K \times W)^2 - K \times W]/2$ bộ so sánh. Do đó, bài báo này sẽ đề xuất một giải pháp nhằm cải tiến giải thuật sắp xếp này.

III. GIẢI PHÁP ĐỀ XUẤT

A. Tổng quan giải pháp đề xuất

Mục đích của bài báo là tìm ra được K giá trị nhỏ nhất với một giải pháp đơn giản hơn nhằm cải thiện thời gian xử lý giải thuật và giảm sự tiêu tốn tài nguyên phần cứng. Tổng quan giải pháp đề xuất được trình bày như trên Hình 3. Điểm khác biệt của giải pháp được đưa ra trong Bước 2, 3 và 4. Do ba bước này được thực hiện giống nhau nên bài báo sẽ tập trung vào trình bày Bước 2. Thay vì đi tìm K giá trị nhỏ nhất trong tập $K \times W$ giá trị như trong phương pháp K-Best gốc thì trong giải pháp đề xuất sẽ xử lý với từng tập W giá trị tương ứng với mỗi k riêng biệt. Đầu tiên trong Bước 2-1, ứng với từng giá trị k , W giá trị PED tương ứng được xác định. Sau đó, những giá trị này sẽ được đưa vào Bước 2-2 và Bước 2-3 để xử lý tìm ra K giá trị nhỏ nhất.



Hình 3. Kỹ thuật K-Best đề xuất tổng quan

B. Giải pháp sắp xếp W giá trị tăng dần

Ứng với mỗi giá trị PED_{4min}^k tìm được trong bước 1, W giá trị PED_3 được tính toán ra trong Bước 2-1. Để sắp xếp những giá trị này theo thứ tự tăng dần bằng phương pháp cổ điển ta sẽ cần $(W^2 - W)/2$ bộ so sánh. Để tăng tốc độ sắp xếp cũng như giảm tài nguyên phần cứng, một giải pháp sắp xếp W giá trị tăng dần trong Bước 2-2 được đề xuất như sau:

Trong giải pháp đề xuất, công thức (6-9) sẽ được biến đổi thành công thức (15-18) một cách tương ứng sử dụng mặt phẳng I-Q (In-Quadrature) như sau:

$$D_4 = |f_4^I - r_{44} \times x_{44}^I|^2 + |f_4^Q - r_{44} \times x_{44}^Q|^2, \tag{15}$$

với chỉ số I, Q biểu diễn số trên trục thực và số trên trục ảo một cách tương ứng và $f_4 = z_4$.

$$D_3 = |f_3^I - r_{33} \times x_{33}^I|^2 + |f_3^Q - r_{33} \times x_{33}^Q|^2, \tag{16}$$

với $f_3 = z_3 - r_{34} \times x_4$

$$D_2 = |f_2^I - r_{22} \times x_{22}^I|^2 + |f_2^Q - r_{22} \times x_{22}^Q|^2, \tag{17}$$

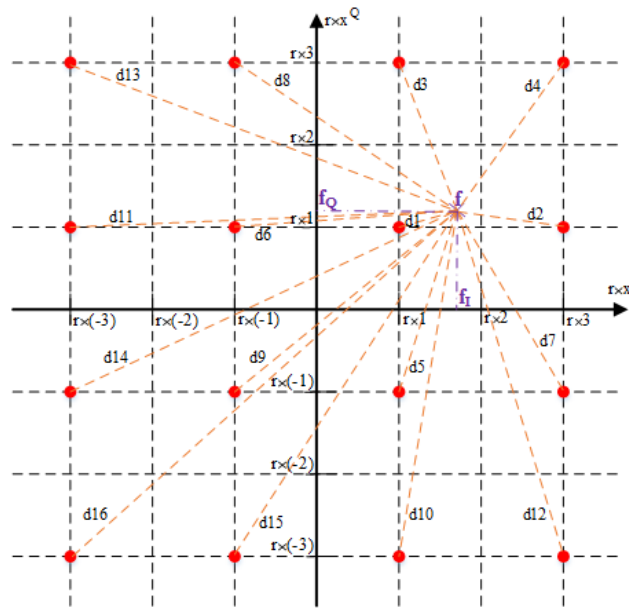
với $f_2 = z_2 - r_{23} \times x_3 - r_{24} \times x_4$

$$D_1 = |f_1^I - r_{11} \times x_{11}^I|^2 + |f_1^Q - r_{11} \times x_{11}^Q|^2, \tag{18}$$

với $f_1 = z_1 - r_{12} \times x_2 - r_{13} \times x_3 - r_{14} \times x_4$

Hình 4 biểu diễn một mặt phẳng IQ cho bộ điều chế tín hiệu QAM-16. Trục I biểu diễn giá trị của $r \times x^I$, trục Q biểu diễn giá trị của $r \times x^Q$, với r là giá trị của $r_{11}, r_{22}, r_{33}, r_{44}$ tương ứng với các bước tính D_4, D_3, D_2, D_1 và x là giá trị điểm chòm sao $x_{11}, x_{22}, x_{33}, x_{44}$ tương ứng với các bước tính D_4, D_3, D_2, D_1 . Trong mỗi bước, với giá trị f^I và f^Q

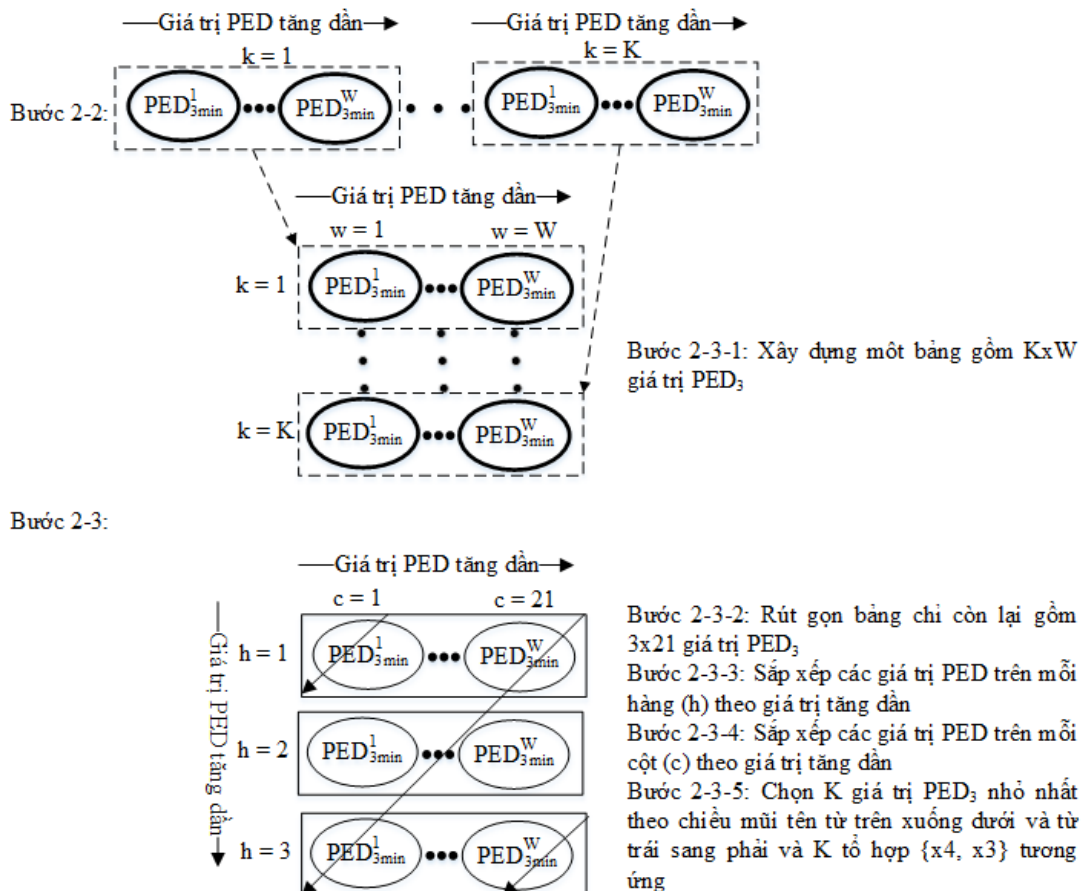
đã được xác định từ các giá trị đã có trong các bước trước đó nên từ mặt phẳng IQ ta dễ dàng biết được thứ tự khoảng cách điểm chòm sao từ ngắn nhất đến dài nhất so với điểm f mà không cần thực hiện giải thuật sắp xếp tiêu tốn thời gian. Ví dụ, nếu giá trị $r \times 1 \leq f^I, f^Q < r \times 2$ thì $x(1,1)$ là điểm chòm sao có khoảng cách ngắn nhất, $x(3,1)$ điểm có khoảng cách ngắn nhì và cứ thế tiếp tục cho đến $x(-3, -3)$ là điểm có khoảng cách dài nhất đến điểm f .



Hình 4. Giải pháp sắp xếp W giá trị tăng dần sử dụng mặt phẳng I-Q ($W = 16$)

C. Giải pháp xác định K giá trị nhỏ nhất

Sau khi K tổ hợp W giá trị PED_3 được sắp xếp trong Bước 2-2, K giá trị nhỏ nhất trong $K \times W$ giá trị này cần được xác định trong Bước 2-3. Để đơn giản việc tính toán, giải pháp đề xuất cho Bước 2-3 sẽ thực hiện như trên Hình 5.



Hình 5. Giải pháp đề xuất nhằm xác định K giá trị PED nhỏ nhất

Đầu tiên Bước 2-3-1, một bảng gồm K hàng và W cột được xây dựng, trong đó hàng đầu tiên ứng với $k = 1$ và hàng cuối cùng ứng với $k = K$, trên mỗi một hàng gồm W giá trị đã được sắp xếp tăng dần trong bước 2-2.

Nhằm giảm bớt việc xử lý nhiều giá trị trên bảng gồm K hàng và W cột, kế tiếp Bước 2-3-2 sẽ rút gọn thành một bảng gồm (K/H) hàng và $(\sum_{h=1}^H h)$ cột. Giả sử $K = 21, W = 16$ (QAM-16), một bảng (B) gồm 21×16 giá trị PED_3 được xây dựng từ bước 2-3-1. Ta nhận thấy rằng, nếu giá trị k và w càng lớn thì khả năng những giá trị PED tương ứng của nó là nhỏ nhất sẽ càng thấp. Do đó, một bảng rút gọn (Brg) với $H = 7$ tìm như trong Bảng 1 gồm 3 hàng và 28 cột được lấy ra như sau: 3 hàng đầu tiên ($k = 1:3$), sẽ lấy 7 cột ($w = 1:7$), 3 hàng kế tiếp ($k = 4:6$), sẽ lấy 6 cột ($w = 1:6$), và cứ thực hiện như vậy cho đến 3 hàng cuối cùng ($k = 19:21$), sẽ lấy 1 cột ($w = 1$).

Bảng 1. Bảng rút gọn (Brg) gồm 3 hàng và 28 cột

1,1	1,...	1,7	4,1	4,...	4,6	7,1	7,...	7,5	...	16,1	16,2	19,1
2,1	2,...	2,7	5,1	5,...	5,6	8,1	8,...	8,5	...	17,1	17,2	20,1
3,1	3,...	3,7	6,1	6,...	6,6	9,1	9,...	9,5	...	18,1	18,2	21,1

Sau đó, Bước 2-3-3 và Bước 2-3-4 sẽ sắp xếp các giá trị PED trên mỗi hàng và trên mỗi cột theo hướng tăng dần. Như vậy để thực hiện hai bước này ta cần tổng cộng $\left[3 \times \frac{(28^2-28)}{2} + 28 \times \frac{(3^2-3)}{2}\right]$ bộ so sánh.

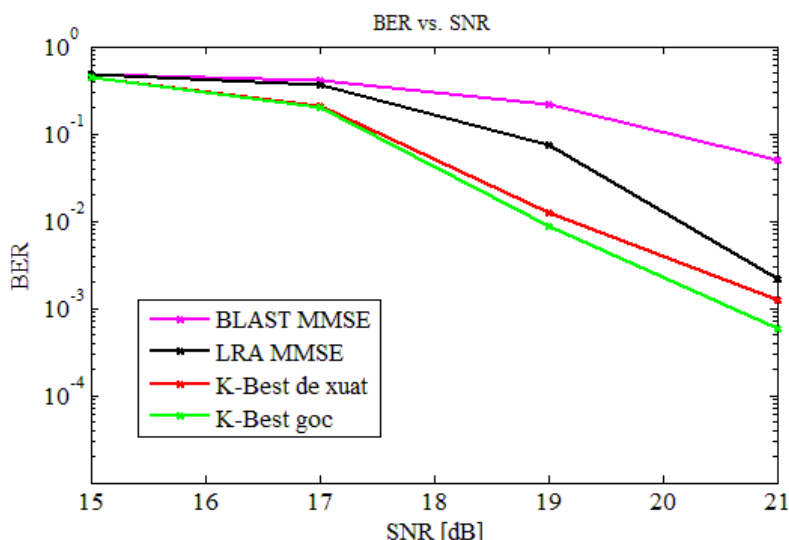
Từ bảng rút gọn (Brg) trên, trong Bước 2-3-5, K giá trị PED_3 nhỏ nhất được chọn theo chiều các mũi tên từ trên xuống dưới và từ trái sang phải như trên Hình 5. K giá trị PED_3 này sẽ được sử dụng để tìm ra K giá trị PED_2 và PED_1 trong Bước 3 và Bước 4 với phương pháp tương tự. Cuối cùng K giá trị PED_1 sẽ được đưa vào bộ giải mã mềm sử dụng kỹ thuật Log Likelihood Ratio (LLR) để tìm ra giá trị cần giải mã.

IV. KẾT QUẢ ĐỀ XUẤT

Để kiểm chứng kết quả của giải pháp đề xuất, bài báo xây dựng mô hình hệ thống MIMO 4x4 - WLAN chuẩn 802.11ac trên phần mềm mô phỏng MATLAB. Hệ thống gồm một đầu phát và một đầu thu như trên Hình 1. Trong đó, đầu phát và đầu thu đều có 4 anten. Môi trường H được xây dựng giả lập là môi trường văn phòng theo định nghĩa của ITU [6]. Ngoài ra, hệ thống mô phỏng WLAN còn có các thông số quan trọng khác được liệt kê trong Bảng 2.

Bảng 2. Thông số hệ thống mô phỏng MIMO 4x4 - WLAN

Thông số hệ thống mô phỏng WLAN	Giá trị
Chuẩn	802.11ac
Số anten phát	4
Số anten thu	4
Môi trường truyền giả lập	D (chuẩn ITU)
Kỹ thuật điều chế/giải điều chế tín hiệu	QAM-16
Tỉ lệ bit mã điều chế (code rate)	3/4
Kỹ thuật mã hóa/giải mã tín hiệu	STBC/Viterbi
Kỹ thuật giải mã MIMO-OFDM	MMSE, K-Best gốc, K-Best đề xuất
Chiều dài gói tin	1000 bytes
Số lần truyền gói tin	2000



Hình 6. Kết quả chạy mô phỏng thể hiện tỷ lệ bit lỗi (BER) so với tỷ lệ tín hiệu trên nhiễu (SNR)

Kết quả chạy mô phỏng trên Hình 6 cho ta thấy tỉ lệ bit lỗi (BER) của giải pháp K-Best đề xuất cải thiện rất nhiều so với hai kỹ thuật MMSE đó là BLAST-MMSE [7] và LRA-MMSE [8]. Kết quả BER của giải pháp đề xuất so với kỹ thuật K-Best gốc có suy hao không nhiều (0.5 dB tại BER = 10^{-3}). Tuy nhiên, độ phức tạp trong việc xử lý của giải pháp K-Best đề xuất giảm đi hơn 90% so với kỹ thuật K-Best gốc như trình bày trong Bảng 3, với K = 21 và W = 16, nhờ đó thời gian xử lý giải thuật và tài nguyên thiết kế phần cứng được cải thiện rất nhiều.

Bảng 3. So sánh độ phức tạp về tính toán giữa kỹ thuật K-Best gốc và K-Best đề xuất

Thông số so sánh về độ phức tạp	Kỹ thuật K-Best gốc	Kỹ thuật K-Best đề xuất	Phần trăm (%) cải thiện độ phức tạp
Số phép tính so sánh cần hiện thực	56280	3654	93.9%

V. KẾT LUẬN

Bài báo đã trình bày một giải pháp đề xuất với mục đích cải tiến kỹ độ phức tạp trong tính toán của kỹ thuật K-Best gốc nhằm đẩy nhanh tốc độ xử lý và giảm tài nguyên sử dụng phần cứng khi hiện thực phần cứng. Kết quả mô phỏng cho ta thấy độ chính xác của giải pháp đề xuất so với kỹ thuật K-Best gốc suy hao đi không nhiều (0.5 dB tại BER = 10^{-3}) nhưng độ phức tạp của việc tính toán cải thiện lên đến hơn 90%. Hướng phát triển tiếp theo của bài báo là sẽ nghiên cứu phương pháp hiện thực và đánh giá giải pháp đề xuất trên phần cứng.

LỜI CẢM ƠN

Công trình nghiên cứu này được tài trợ bởi Đại học Công nghệ thông tin - Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh dưới số hiệu tài trợ là D1-2017-01.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] IEEE Std 802.11ac, Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications (2013)
- [2] C. Siriteanu, S. D. Blostein, A. Takemura, H. Shin, S. Yousefi, S. Kuriki, "Exact MIMO Zero-Forcing Detection Analysis for Transmit-Correlated Rician Fading", Journal of IEEE Transactions on Wireless Communications, vol. 13, no. 3, pp.1514-1527, 2014.
- [3] Liu Yan, "A modified approach on MMSE MIMO Interference Cancellation Detection", Proceeding of IEEE International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation, pp. 16-18, 2016.
- [4] F. Ito, T. Nakagawa, H. Hamazumi, K. Fukawa, "Development of 4x4 MIMO-QPSK demodulator using complexity-reduced MLD with block QR decomposition", Proceeding of IEEE International Symposium on Broadband Multimedia Systems and Broadcasting, pp. 1-4, 2016.
- [5] W. Fan, A. Alimohammad, "Two-dimensional sorting algorithm for high-throughput K-Best MIMO detection", Journal of IEEE Institution of Engineering and Technology, vol. 11, no. 6, pp.817-822, 2017.
- [6] IEEE 802.11-14/0882r4: Wireless LANs IEEE 802.11ax Channel Model Document, 2014.
- [7] C. Kotchasarn, "Bit error rate analysis for V-BLAST/STBC using interference cancellation techniques", Proceeding of IEEE International Conference on Advanced Communication Technology, pp. 157-161, 2014.
- [8] T. Fujino, S. Wakazono, Y. Sasaki, "A Gram-Schmidt Based Lattice-Reduction Aided (LRA) MMSE Detection in MIMO systems", Proceeding of IEEE Global Telecommunications Conference, pp. 1-8, 2009.

OPTIMIZING MIMO DECODER ALGORITHM FOR WLAN 802.11AC SYSTEMS

Lam Duc Khai, Vu Van Manh, Nguyen Ngoc Tien

ABSTRACT: In this paper, a low computational complexity Orthogonal frequency-division multiplexing Multiple Input - Multiple Output (OFDM - MIMO) decoder for the 802.11ac Wireless Local Area Network (WLAN) is addressed. To reduce the computational complexity of the conventional K-Best algorithm, the combination of two new approaches to determine the K-best nodes are introduced. The first approach is the constellation I-Q plane based sorting method to sort one-dimension vector in ascending order. The second one is the table based sorting method to sort a two dimension - vector in ascending order. By simulation results, the Bit Error Rate (BER) performance of our proposed approaches is only degraded 0.5 dB compared with that of the conventional K-Best algorithm, but our proposal helps to reduce up to 90% of the computational complexity in term of sorting method.