

ỨNG DỤNG MÃ HAMMING (7,4) TRONG SỬA LỖI ẢNH BỊ NHIỀU KHI TRUYỀN QUA MÔI TRƯỜNG VÔ TUYẾN

Nguyễn Nam Hải*, Nguyễn Thế Anh*

TÓM TẮT

Title: Applying Hamming (7,4) code for image error correction in wireless communication

Từ khóa: Mã Hamming (7,4), sửa lỗi trong truyền ảnh, truyền thông không dây, mã hoá kênh, NRF24L01 và truyền dữ liệu

Keywords: Hamming (7,4) code, image transmission error correction, wireless communication, Channel coding, NRF24L01 and data transmission

Lịch sử bài báo

Ngày nhận bài: 18/12/2025

Ngày nhận kết quả bình duyệt: 06/01/2026

Ngày chấp nhận đăng bài: 22/01/2026

Tác giả: *Học viện Hải quân

Email liên hệ:

linhkysu86@gmail.com

Bài viết trình bày ứng dụng mã Hamming (7,4) trong việc phát hiện và sửa lỗi ảnh bị nhiễu khi truyền qua môi trường vô tuyến. Mô hình truyền thông sử dụng máy tính kết nối module thu phát NRF24L01 để truyền ảnh đen trắng đã được mã hóa bằng mã Hamming nhằm tăng độ tin cậy. Mỗi khối 4 bit dữ liệu được mã hóa thành 7 bit và truyền qua kênh vô tuyến. Kết quả cho thấy mã Hamming (7,4) có khả năng sửa được lỗi đơn (1 bit) trong mỗi khung dữ liệu, giúp phục hồi ảnh chính xác. Tuy nhiên, khi số lỗi vượt quá 1 bit/khung, mã không còn hiệu quả. Nghiên cứu khẳng định tính khả thi của mã Hamming trong truyền ảnh với mức nhiễu thấp và mở ra hướng phát triển các mã mạnh hơn cho các kênh truyền có tỷ lệ lỗi cao.

ABSTRACT

This paper presents the application of Hamming (7,4) codes for error detection and correction in noisy image transmission over wireless channels. The communication model utilizes computers connected to NRF24L01 transceiver modules to transmit binary images encoded with Hamming codes to enhance reliability. Each 4-bit data block is encoded into 7 bits and transmitted over the wireless link. Experimental results demonstrate that the Hamming (7,4) code can successfully correct single-bit errors per transmission frame, allowing accurate image recovery. However, when the number of errors exceeds 1 bit/frame, the code fails to correct the errors. This study confirms the feasibility of using Hamming codes for image transmission with low noise levels and highlights the need for stronger error correction codes for transmission channels with high error rates.

1. Đặt vấn đề/Giới thiệu

Trong các hệ thống truyền thông không dây, dữ liệu số, bao gồm cả hình ảnh, thường phải đối mặt với nhiều yếu tố gây suy giảm chất lượng trong quá trình truyền tải. Các ảnh hưởng như nhiễu, suy hao tín hiệu, giao thoa đa đường và fading có thể làm sai lệch thông tin gốc, dẫn đến mất mát hoặc biến dạng dữ liệu. Một trong những giải pháp quan trọng nhằm cải thiện độ tin cậy của quá

trình truyền tải là áp dụng các kỹ thuật mã hóa kênh để phát hiện và sửa lỗi.

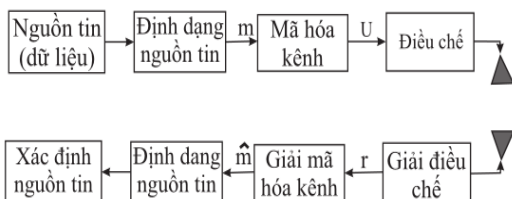
2. Tổng quan nghiên cứu, cơ sở lý thuyết và phương pháp nghiên cứu

Trong bài báo này sẽ trình bày các nguyên lý cơ bản của mã Hamming (7,4) và cách áp dụng mã Hamming (7,4) để mã hoá và giải mã kênh để giảm thiểu lỗi trong ảnh nhận được. Sử dụng phần mềm Matlab để

thực hiện quá trình mã hoá và giải mã dữ liệu bức ảnh cần truyền cũng như gây nhiễu lên bức ảnh khi truyền từ điểm phát đến điểm thu, sử dụng bộ thu phát vô tuyến NRF24L01 để truyền bức ảnh qua không gian tự do. Đánh giá khả năng sửa lỗi của mã kênh khi bức ảnh bị các mức nhiễu khác nhau tác động. So với các nghiên cứu trước đây chủ yếu tập trung vào phân tích lý thuyết hoặc mô phỏng, bài báo này đã triển khai thực nghiệm ứng dụng mã Hamming (7,4) trong truyền ảnh qua kênh vô tuyến sử dụng module NRF24L01. Nghiên cứu không chỉ xác nhận khả năng sửa lỗi 1 bit của mã Hamming trong điều kiện truyền thực tế mà còn đánh giá trực quan chất lượng ảnh thu được sau giải mã. Kết quả làm rõ phạm vi ứng dụng hiệu quả của mã Hamming (7,4) trong môi trường nhiễu thấp, đồng thời chỉ ra nhu cầu sử dụng các mã mạnh hơn đối với kênh có tỷ lệ lỗi cao.

3. Nội dung

3.1. Mô hình của hệ truyền thông số



Hình 1. Mô hình đơn giản của hệ truyền thông số

Mô hình của hệ truyền thông số được mô tả trên hình 1, trong quá trình truyền số liệu do tác động của nhiễu lên kênh truyền làm cho dữ liệu nhận được ở máy thu sẽ bị sai lệch. Để sửa được các lỗi do yếu tố kênh truyền hệ thống cần được mã hoá bằng bộ mã kênh ở máy phát và giải mã ở máy thu bằng bộ giải mã kênh. Mã Hamming (7,4) có

khả năng phát hiện và sửa một lỗi bit đơn trong quá trình truyền, giúp cải thiện độ tin cậy của dữ liệu nhận được.

3.2. Nguyên tắc mã hoá

Mã Hamming (7,4) hoạt động bằng cách nhân vector dữ liệu đầu vào với ma trận sinh G để tạo ra mã hiệu có thể sửa lỗi. Quá trình mã hóa được thực hiện như sau:

Bước 1: Biểu diễn 4 bit dữ liệu d_1, d_2, d_3, d_4

Bước 2: Tính 3 bit kiểm tra p_1, p_2, p_3 dựa trên tổ hợp tuyến tính của các bit.

Bước 3: Ghép 4 bit dữ liệu và 3 bit kiểm tra thành 7 bit mã hóa.

Quá trình chuyển đổi từ khối tin thành từ mã được thực hiện trong bộ mã hoá. Chức năng của bộ mã hoá Hamming (n,k) được đặc trưng bởi ma trận sinh G. Ma trận G được xây dựng như sau:

$$G = \begin{bmatrix} V_1 \\ \vdots \\ V_k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_{11} & v_{12} & \cdot & \cdot & \cdot & v_{1n} \\ v_{21} & v_{22} & \cdot & \cdot & \cdot & v_{2n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ v_{k1} & v_{k2} & \cdot & \cdot & \cdot & v_{kn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

$V_1, V_2, \dots, V_k$: Các vec tơ mã thành phần của bộ mã Hamming (n,k)

Quá trình mã hoá với mã khối (n,k) về mặt toán học là phép nhân ma trận:

$$U = mG \quad (2)$$

trong đó m là vector bản tin; G là ma trận sinh của bộ mã.

$$(u_1, u_2, \dots, u_n) = (m_1, m_2, \dots, m_k) \times \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ \vdots \\ V_k \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$(u_1, u_2, \dots, u_n) = m_1 V_1 + m_2 V_2 + \dots + m_k V_k \quad (4)$$

Ma trận sinh của mã Hamming (n,k) được xác định như sau:

$$G = [I_k | P] \quad \text{hoặc} \quad G = [P | I_k] \quad (5)$$

trong đó: I_k là ma trận đơn vị kích thước $k \times k$; P là ma trận kích thước $k \times (n-k)$.

$$G = [I_k | P] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \dots & 0 & p_{1,1} & p_{1,2} & \dots & p_{1,n-k} \\ 0 & 1 & \dots & 0 & p_{2,1} & p_{2,2} & \dots & p_{2,n-k} \\ \vdots & \vdots & & \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & 1 & p_{k,1} & p_{k,2} & \dots & p_{k,n-k} \end{bmatrix} \quad (6)$$

Bất cứ một mã tuyến tính nào chúng ta đều có thể tìm được một ma trận H có kích thước $(n-k) \times n$ có tính chất trực giao với ma trận G : $GH^T = 0$

trong đó: H còn được gọi là ma trận kiểm tra chẵn lẻ và các hàng của nó là các vector độc lập tuyến tính. Với mã Hamming (n,k) thì H được xây dựng như sau:

$$H = [I_{n-k} | P^T] \quad (7)$$

3.3. Xử lý lỗi đối với mã Hamming

Ta có biểu thức:

$$r = U + e \quad (8)$$

trong đó: ký hiệu từ mã nhận được ở phía thu: $r = (r_1, r_2, \dots, r_n)$, e được gọi là mặt nạ lỗi cũng là một vector n thành phần:

$$e = (e_1, e_2, \dots, e_n) \quad (9)$$

Việc xác định lỗi trong dữ liệu nhận được ở phía máy thu thông qua việc tính giá trị của thông số gọi là syndrome S . Syndrome S của từ mã r tương ứng với mặt nạ lỗi e được xác định như sau:

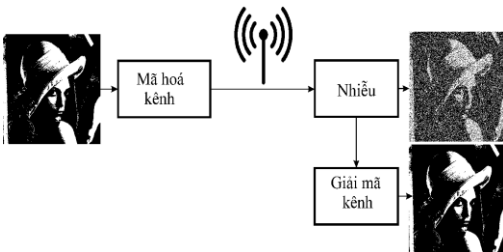
$$S = rH^T = eH^T \quad (10)$$

$$S^T = Hr^T \quad (11)$$

S là một vector $(n-k)$ thành phần. S chỉ ra vị trí của Bit lỗi trong chuỗi nhận được (chỉ với trường hợp lỗi đơn) thông qua bảng ánh xạ lỗi.

Bảng 1. Mối tương quan giữa Syndrom S và véc tơ lỗi e

S			e						
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	1	1	0	0	0	0	0	0
1	1	1	0	1	0	0	0	0	0
1	1	0	0	0	1	0	0	0	0
0	1	1	0	0	0	1	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	1	0	0
0	1	0	0	0	0	0	0	1	0
0	0	1	0	0	0	0	0	0	1



Hình 2. Mô hình hệ thống truyền ảnh qua kênh vô tuyến sử dụng mã kênh

Hình 2 mô tả quá trình truyền bức ảnh qua kênh vô tuyến. Bức ảnh nhận được ở phía thu có thể sẽ bị nhiễu dẫn đến hình ảnh nhận được không trung thực, bị sai lệch có thể dẫn đến nhận diện bị sai như được thể hiện ở ảnh sau khối nhiễu trên mô hình. Nhưng nhờ quá trình mã hoá ở máy phát và giải mã ở máy thu đối với mã kênh, bức ảnh

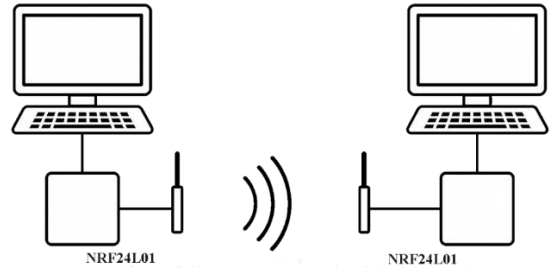


Hình 4. Quá trình biến đổi bức ảnh để truyền qua kênh vô tuyến

thu được sẽ khôi phục giống như ở phía phát đã gửi đi, trên hình 2 được thể hiện bằng bức ảnh nhận được sau khối giải mã kênh.

3.4. Kết quả thực hiện

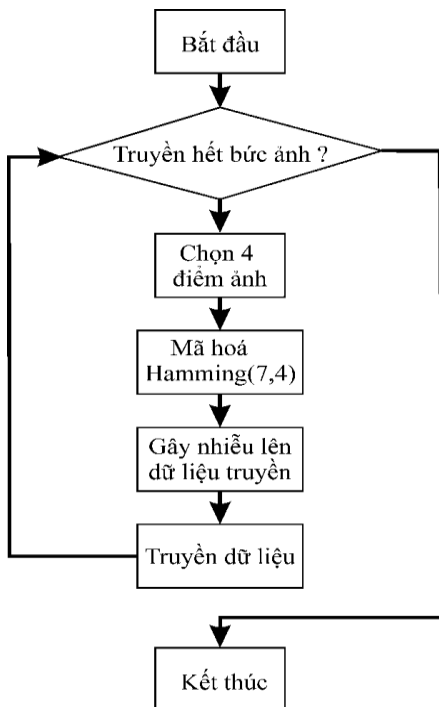
Trong nghiên cứu này, sẽ truyền một bức ảnh giữa hai máy tính với nhau thông qua môi trường vô tuyến như hình 3.



Hình 3. Thiết bị truyền bức ảnh qua kênh vô tuyến

Máy tính phía truyền sẽ thực hiện thuật toán mã hoá mã Hamming (7,4), Vì dung lượng của bức ảnh màu rất lớn nên để giảm dung lượng bức ảnh giúp cho quá trình truyền bức ảnh nhanh hơn nhưng không ảnh hưởng đến quá trình đánh giá thí nghiệm, bức ảnh sẽ được chuyển từ ảnh màu thành ảnh đen trắng. Vì ảnh đen trắng được biểu diễn bởi giá trị là 0 và 1 (1 tương ứng với 255) lúc này mỗi điểm ảnh sẽ chiếm dung lượng 1 bit của của bộ nhớ thay vì 24 bit như ảnh màu nên dung lượng sẽ được giảm 24 lần. Hình 4 biểu diễn ma trận điểm ảnh của bức ảnh với 20 dòng và 20 cột đầu tiên.

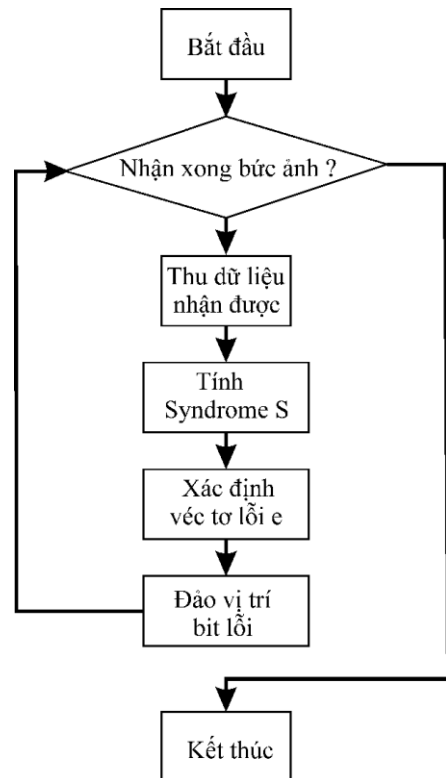
Mã Hamming (7,4) chứa 4 bit thông tin và 3 bit kiểm tra nên khi truyền bức ảnh ta sẽ lần lượt truyền 4 bit một, khối 4 bit này sẽ được thêm vào 3 bit kiểm tra để được một từ mã hoàn chỉnh 7 bit và được truyền qua môi trường vô tuyến nhờ khối thu phát vô tuyến NRF24L01 làm việc ở dải tần 2,4GHz. Thuật toán quá trình truyền dữ liệu được thể hiện trên hình 5. Việc điều khiển phát vô tuyến cho thiết bị phát NRF24L01 được thực hiện bởi arduino, giao tiếp dữ liệu giữa arduino và máy tính sử dụng chuẩn giao tiếp uart khung 8 bit dữ liệu nên ta có chèn thêm vào từ mã Hamming 7 bit một bit 0 vào cuối từ mã để đủ khung dữ liệu 8 bit truyền đi, phía thu sẽ loại bỏ bit được thêm vào này. Thuật toán quá trình thu dữ liệu được thể hiện trên hình 6.



Hình 5. Thuật toán truyền dữ liệu bức ảnh

Trường hợp có 1 bit lỗi trên mỗi khung truyền: Trên mỗi khung dữ liệu truyền đi chúng ta sẽ gây nhiễu trên một bit mang dữ liệu thông tin điểm ảnh, nghĩa là sẽ đảo giá

trị của bit này. Quá trình thực nghiệm trên mô hình cho thấy, sau quá trình giải mã, bức ảnh nhận được không còn bị nhiễu, nghĩa là mã Hamming (7,4) có khả năng sửa được 1 lỗi bit trong khung dữ liệu truyền. Quá trình thử nghiệm trên mô hình xây dựng tiếp tục thử nghiệm với tác động gây sai số trên 2 bit của mỗi khung dữ liệu truyền. Kết quả ở phía thu sau khi giải mã Hamming (7,4), bức ảnh thu được là một bức ảnh bị nhiễu, điều đó chứng tỏ mã Hamming không có khả năng sửa được lỗi khi khung dữ liệu bị sai từ 2 bit trở lên. Các kết quả này hoàn toàn phù hợp với lý thuyết về mã Hamming (7,4) chỉ sửa được tối đa sai số 1 bit lỗi.

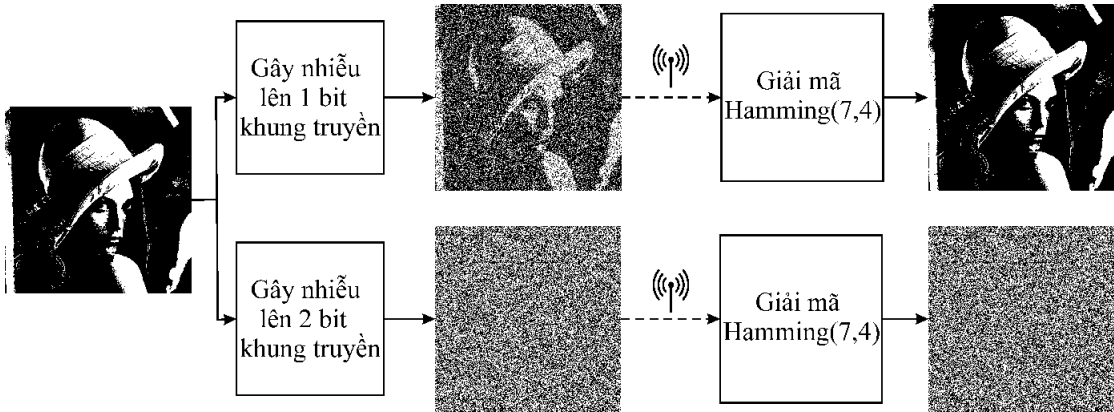


Hình 6. Thuật toán thu dữ liệu bức ảnh

Hình 7 thể hiện kết quả thí nghiệm thực hiện quá trình truyền bức ảnh trong 2 trường hợp, nhánh trên là trường hợp gây nhiễu lên 1 bit khung truyền. Kết quả thu về được bức ảnh sau giải mã là bức ảnh đã được khôi phục nhờ sửa được các bit bị lỗi.

Nhánh dưới là trường hợp truyền bức ảnh khi gây nhiễu lên 2 bit khung truyền. Kết quả thu được bức ảnh bị nhiễu do không sửa được các bit lỗi. Các quá trình xử lý dữ

liệu của bức ảnh được thực hiện trên phần mềm Matlab, quá trình truyền dữ liệu được thực hiện bởi máy tính, arduino và mô đun thu phát RF NRF24L01.



Hình 8. Các quá trình gây nhiễu khác nhau lên bức ảnh

4. Kết luận

Qua quá trình nghiên cứu truyền bức ảnh qua môi trường vô tuyến chịu tác động của nhiễu tác động làm nội dung thông tin bị sai lệch, kết quả phía thu nhận được bức ảnh bị can nhiễu dẫn đến sai lệch thông tin. Sử dụng mã Hamming (7,4) có thể sửa được lỗi và khôi phục được bức ảnh nếu trên 1 khung dữ liệu truyền có 1 bit bị lỗi. Khi có 2 bit trở lên bị lỗi trên 1 khung truyền thì mã Hamming (7,4) không có khả năng sửa lỗi. Ngoài đánh giá trực quan chất lượng ảnh, nghiên cứu còn bổ sung các chỉ tiêu định lượng gồm tỷ lệ lỗi bit (BER) và tỷ lệ lỗi

khung (FER). Kết quả thực nghiệm cho thấy, khi mỗi khung dữ liệu chỉ xuất hiện tối đa một lỗi bit, BER và FER sau giải mã Hamming (7,4) xấp xỉ bằng 0. Ngược lại, khi số lỗi bit trên mỗi khung tăng từ hai trở lên, BER và FER tăng nhanh, phản ánh rõ giới hạn sửa lỗi của mã Hamming (7,4). Trong trường hợp này ta cần nghĩ đến những mã mạnh hơn như mã Hamming SEC-DED, Reed-Solomon... Tuy nhiên các mã này thuật toán mã hoá, giải mã phức tạp, số bit kiểm tra thêm vào lớn làm giảm hiệu quả kênh truyền nên việc xử lý bức ảnh với tỷ số lỗi bit lớn vẫn là vấn đề đang được tiếp tục nghiên cứu.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

Nguyễn Viết Kính – Trịnh Anh Vũ (2008), *Thông tin số*, Nxb Giáo dục, Hà Nội.
S. Lin and D. J. Costello (2004), *Error Control Coding: Fundamentals and Applications*, 2nd ed. Pearson.

M. S. Gast (2005), *802.11 Wireless Networks: The Definitive Guide*, 2nd ed. O'Reilly Media.