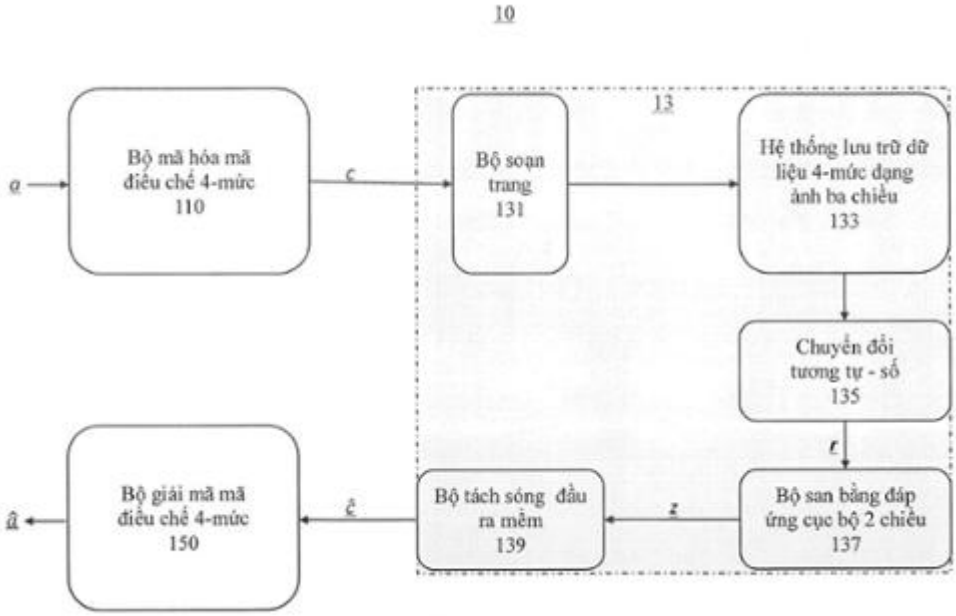
(12) BẢN MÔ TẢ SÁNG CHẾ THUỘC BẰNG ĐỘC QUYỀN SÁNG CHẾ
(19) **Cộng hòa xã hội chủ nghĩa Việt Nam (VN)**
CỤC SỞ HỮU TRÍ TUỆ
(11) **1-0036606**
(51)[2020.01] **G06F 16/00**
(13) **B**

(21) 1-2020-02424
(22) 28/04/2020
(45) 25/08/2023 425
(43) 27/07/2020 388ASC
(73) TRƯỜNG ĐẠI HỌC PHENIKAA (VN)
Phường Yên Nghĩa, Quận Hà Đông, Thành Phố Hà Nội
(72) Nguyễn Đình Chi (VN).

(54) HỆ THỐNG VÀ PHƯƠNG PHÁP LƯU TRỮ DỮ LIỆU 4-MỨC DẠNG ẢNH BA CHIỀU

(57) Sáng chế đề xuất hệ thống lưu trữ dữ liệu 4-mức dạng ảnh ba chiều bao gồm: bộ mã hóa mã điều chế 4-mức được tạo cấu hình để chuyển đổi dữ liệu người dùng đầu vào thành một từ mã (codeword) 4-mức; khối lưu trữ được tạo cấu hình để lưu trữ các từ mã được tạo thành; và bộ giải mã mã điều chế 4-mức được tạo cấu hình để khôi phục các từ mã được lưu trữ thành dữ liệu đầu ra, trong đó, 4-mức được minh họa như {0, 1, 2, 3}. Ngoài ra, sáng chế còn đề xuất phương pháp lưu trữ dữ liệu 4-mức dạng ảnh ba chiều để nâng cao chất lượng của hệ thống lưu trữ dữ liệu 4-mức dạng ảnh ba chiều.



Lĩnh vực kỹ thuật được đề cập

Sáng chế đề cập đến hệ thống lưu trữ dữ liệu 4-mức (4-ary) dạng ảnh ba chiều và phương pháp sử dụng kỹ thuật mã hóa điều chế 4-mức để nâng cao chất lượng của hệ thống lưu trữ dữ liệu 4-mức dạng ảnh ba chiều.

Tình trạng kỹ thuật của sáng chế

Sự tăng trưởng nhanh chóng của lượng lớn thông tin cần được lưu trữ và xử lý đã đặt ra nhiều thách thức đối với hệ thống lưu trữ. Để đáp ứng nhu cầu ngày càng tăng của các thiếu bị lưu trữ dữ liệu, các công nghệ lưu trữ dữ liệu mới đã được đẩy mạnh nghiên cứu và phát triển trong khoảng hơn 10 năm trở lại đây. Đối với hệ thống lưu trữ quang, hệ thống lưu trữ dữ liệu ba chiều (HDS – Holographic Data Storage) được coi là một trong những hệ thống lưu trữ triển vọng nhất trong số các hệ thống lưu trữ quang thế hệ tiếp theo. Nếu như các hệ thống lưu trữ dữ liệu quang truyền thống như đĩa CD (Compact Disc), đĩa DVD (Digital Versatile Disc), hay đĩa BD (Blu-ray Disk) lưu trữ thông tin trên bề mặt (surface) của chúng, hệ thống HDS lưu trữ thông tin dưới dạng các hologram (ảnh ba chiều). Quá trình ghi và đọc thông tin trong hệ thống HDS được thực hiện theo trang (page). Hệ thống HDS có nhiều ưu điểm về thời gian truy cập ngắn, khả năng lưu trữ lớn và cung cấp nhiều ứng dụng lưu trữ tiềm năng khác. Tuy nhiên, ngoài những ưu điểm của nó, hệ thống có một số thách thức phải đối mặt, chẳng hạn như nhiễu hai chiều (2D interference), nhiễu giữa các trang (IPI – Interpage Interference), ảnh hưởng của độ mờ và độ sai trệch, cũng như các giới hạn vật lý từ chính các thành phần cấu thành hệ thống. Đặc biệt, nhiễu hai chiều được coi là ảnh hưởng chính làm suy giảm chất lượng dữ liệu được truy xuất.

Trong hệ thống HDS, khi một pixel (điểm ảnh) biểu thị cho 2 bít, hệ thống được gọi là hệ thống HDS 4-mức. Tuy nhiên, lúc này hệ thống HDS 4-mức sẽ bị ảnh hưởng

cực kỳ nghiêm trọng bởi nhiễu hai chiều. Để khắc phục vấn đề này, các mã điều chế 4-mức được triển khai nhằm nắn dạng đặc tính của chuỗi thông tin trước khi ghi vào trong phương tiện lưu trữ.

Mã điều chế được sử dụng rộng rãi trong nhiều ứng dụng như truyền dẫn số, hệ thống ghi quang/từ, cũng như các bộ nhớ flash. Nói một cách tổng quát, mã điều chế áp đặt một số ràng buộc đối với các chuỗi thông tin được ghi theo đặc điểm của phương tiện ghi vật lý (chẳng hạn, 9/12 Two-Dimensional Modulation Code for Bit-Patterned Media Recording, IEEE Transactions on Magnetics 2017; và KR 10-1789926).

Đối với các hệ thống HDS 4-mức, các mã điều chế 4-mức cần được sử dụng tương ứng. Ngoài ra, bên cạnh việc phù hợp với các đặc tính của phương tiện lưu trữ, các mã điều chế 4-mức cần được xây dựng với tốc độ mã cao, đồng thời hỗ trợ khả năng phát hiện và sửa lỗi. Do đó, việc thiết kế các mã điều chế 4-mức tốc độ cao, có khả năng phát hiện và sửa lỗi cho các hệ thống HDS 4-mức là thực sự cần thiết.

Theo đó, cần có giải pháp để khắc phục một hoặc nhiều vấn đề do các hạn chế và nhược điểm của các kỹ thuật trước đây.

Bản chất kỹ thuật của sáng chế

Mục đích của sáng chế là đề xuất hệ thống lưu trữ dữ liệu 4-mức dạng ảnh ba chiều và phương pháp sử dụng kỹ thuật mã hóa điều chế 4-mức để nâng cao chất lượng của hệ thống lưu trữ dữ liệu 4-mức dạng ảnh ba chiều. Trong đó, mã điều chế được sử dụng là mã điều chế 4-mức để giảm thiểu ảnh hưởng của nhiễu hai chiều trong các hệ thống HDS 4-mức.

Theo một khía cạnh, sáng chế cung cấp hệ thống lưu trữ dữ liệu 4-mức dạng ảnh ba chiều bao gồm: bộ mã hóa mã điều chế 4-mức được tạo cấu hình để chuyển đổi dữ liệu người dùng đầu vào thành một từ mã (codeword) 4-mức; khối lưu trữ được tạo cấu hình để lưu trữ các từ mã được tạo thành; và bộ giải mã mã điều chế 4-mức được tạo cấu hình để khôi phục các từ mã được lưu trữ thành dữ liệu đầu ra. Ở đây, 4-mức được

minh họa như {0, 1, 2, 3}. Bộ mã hóa mã điều chế 4-mức có nhiệm vụ chính là chuyển đổi dữ liệu đầu vào có 4 ký hiệu (symbol) thành một từ mã gồm 5 symbol trong véc-tơ có kích thước 5 × 1; trong đó, các symbol này sẽ có các giá trị thuộc một trong 4-mức {0, 1, 2, 3} và mỗi mức sẽ minh họa tương ứng cho 2 bít đầu vào. Cụ thể, symbol 0 là minh họa cho 2 bít đầu vào "00", symbol 1 là minh họa cho 2 bít đầu vào "01", symbol 2 là minh họa cho 2 bít đầu vào "10", symbol 3 là minh họa cho 2 bít đầu vào "11". Mỗi thành phần trong một từ mã còn được gọi như một tế bào (cell), như vậy một từ mã sẽ có 5 cell, và giá trị của mỗi cell sẽ là giá trị của mức tương ứng {0, 1, 2, 3}.

Tổng số lượng các từ mã có thể có tại đầu ra bộ mã hóa mã điều chế 4-mức sẽ là 1024 do ($1024 = 4^5$), trong đó bộ mã hóa mã điều chế 4-mức không sử dụng các mẫu (pattern) ở dạng $[X\ 0\ 3\ 0\ X]^T$ và $[X\ 3\ 0\ 3\ X]^T$ trong quá trình mã hóa, ở đây $X \in \{0, 1, 2, 3\}$ và $[.]^T$ là ký hiệu của ma trận chuyển vị.

Bộ mã hóa mã điều chế 4-mức không sử dụng các mẫu ở dạng $[X\ Y\ 0\ 3\ 0\ ]^T$ và $[X\ Y\ 3\ 0\ 3]^T$ trong quá trình mã hóa, ở đây $X \in \{0, 1, 2, 3\}$ và $Y \in \{0, 1, 2\}$.

Bộ mã hóa mã điều chế 4-mức không sử dụng các mẫu ở dạng $[0\ 3\ 0\ Y\ X]^T$ và $[3\ 0\ 3\ Y\ X]^T$ trong quá trình mã hóa, ở đây $X \in \{0, 1, 2, 3\}$ và $Y \in \{0, 1, 2\}$.

Số lượng các từ mã sẽ là 1024 và bộ mã hóa mã điều chế 4-mức sẽ chỉ sử dụng 256 từ mã 4-mức tốt nhất trong tổng số 1024 từ mã, tương ứng với 256 khả năng đầu vào của bộ mã hóa (do $256 = 4^4$), trong đó các từ mã này có khoảng cách Euclidean tối thiểu $d_{Eu} = 0{,}47$.

Theo một khía cạnh khác, sáng chế cung cấp phương pháp lưu trữ dữ liệu 4-mức dạng ảnh ba chiều được thực hiện bởi bộ vi xử lý, phương pháp này bao gồm các bước: mã hóa chuyển đổi dữ liệu đầu vào thành từ mã đặc trưng; lưu trữ các từ mã đặc trưng vào môi trường lưu trữ; và giải mã chuyển đổi từ mã từ môi trường lưu trữ thành dữ liệu đầu ra. Trong đó, bước mã hóa bao gồm việc chuyển đổi dữ liệu đầu vào có 4 symbol

thành từ mã có 5 symbol trong véc-tơ 5 × 1.

Các khía cạnh khác của sáng chế có thể được hiểu rõ bởi những người có hiểu biết trung bình trong lĩnh vực kỹ thuật thông qua phương án của sáng chế.

Hiệu quả đạt được theo sáng chế

Hệ thống lưu trữ dữ liệu 4-mức dạng ảnh ba chiều và phương pháp sử dụng kỹ thuật mã hóa điều chế 4-mức theo sáng chế có thể giảm thiểu ảnh hưởng của nhiễu hai chiều cũng như cải thiện khả năng phát hiện và sửa lỗi, qua đó nâng cao chất lượng của hệ thống lưu trữ dữ liệu.

Mô tả vắn tắt các hình vẽ

Sáng chế sẽ được hiểu rõ hơn thông qua phần mô tả chi tiết về phương án của sáng chế cùng với sự tham chiếu đến các hình vẽ kèm theo, trong đó:

Fig.1 là sơ đồ khối minh họa hệ thống lưu trữ dữ liệu 4-mức dạng ảnh ba chiều;

Fig.2 là biểu đồ tiến trình minh họa phương pháp lưu trữ dữ liệu đối với hệ thống lưu trữ dữ liệu dạnh ảnh ba chiều 4-mức;

Fig.3A, Fig.3B và Fig.3C là các bảng danh sách thể hiện 256 từ mã tối ưu nhất và ánh xạ 1:1 với các khả năng đầu vào tương ứng;

Fig.4 là chất lượng tỷ lệ lỗi bit (BER – Bit-Error-Rate) của các mã được ước tính ở đầu ra bộ giải mã và bộ tách sóng đầu ra mềm;

Fig.5 là chất lượng tỷ lệ lỗi symbol (SER – Symbol-Error-Rate) của các mã dưới tác động đồng thời của ảnh hưởng của độ mờ và độ sai trệch;

Mô tả chi tiết sáng chế

Trong phần mô tả sau đây, không nên hiểu các thuật ngữ chẳng hạn như "gồm" hay "bao gồm", v.v. có nghĩa là toàn bộ các bộ phận hay bước thực hiện thiết yếu có trong hệ thống. Tức là, hệ thống/phương pháp còn có thể có thêm một số bộ phận hay bước thực hiện. Tương tự như vậy, các thuật ngữ như "bộ phận", "khối", v.v. được sử

dụng trong phần mô tả sau đây có thể đề cập tới một phần để xử lý ít nhất một chức năng hoặc thao tác và có thể được thực hiện dưới dạng phần cứng, phần mềm hoặc sự kết hợp của phần cứng và phần mềm.

Hệ thống lưu trữ dữ liệu 4-mức dạng ảnh ba chiều và phương pháp sử dụng kỹ thuật mã hóa điều chế 4-mức theo sáng chế có thể giảm thiểu ảnh hưởng của nhiễu hai chiều và cải thiện khả năng phát hiện và sửa lỗi, qua đó nâng cao chất lượng của hệ thống lưu trữ dữ liệu. Kỹ thuật mã hóa điều chế 4-mức theo sáng chế chỉ ra mã điều chế 4-mức với chuỗi của 4 symbol đầu vào và 5 symbol đầu ra, tốc độ mã 4/5 = 0,8. Năm symbol đầu ra này được sắp xếp vào véc-tơ 5 × 1, và được gọi là một từ mã. Nói cách khác một từ mã sẽ bao gồm 5 pixel, mỗi pixel có thể là các symbol có giá trị thuộc tập $\{\underline{0}, \underline{1}, \underline{2}, \underline{3}\}$.

Fig.1 là sơ đồ khối minh họa hệ thống lưu trữ dữ liệu 4-mức dạng ảnh ba chiều có sử dụng kỹ thuật mã điều chế sửa lỗi 4-mức theo phương án theo sáng chế.

Trên Fig.1, hệ thống lưu trữ dữ liệu 4-mức dạng ảnh ba chiều 100 theo phương án này bao gồm: bộ mã hóa mã điều chế 4-mức 110, sau đây gọi là bộ mã hóa, khối lưu trữ 130, và bộ giải mã mã điều chế 4-mức 150, sau đây gọi là bộ giải mã.

Fig.2 là biểu đồ tiến trình minh họa phương pháp lưu trữ dữ liệu đối với hệ thống lưu trữ dữ liệu HDS 4-mức theo phương án theo sáng chế. Ở đây, phương pháp này được thực hiện bởi một thiết bị được nhúng các bộ vi xử lý.

Sau đây, chức năng của các thành phần và hoạt động theo sáng chế sẽ được mô tả cụ thể như sau.

Trong bước 310, bộ mã hóa 110 chuyển đổi dữ liệu người dùng đầu vào $\underline{a}$ thành từ mã đặc trưng $\underline{c}$.

Trong bước 330, khối lưu trữ 130 ghi từ mã vào môi trường lưu trữ. Khối lưu trữ 130 bao gồm bộ soạn trang (page composer) 131, hệ thống lưu trữ dữ liệu 4-mức dạng ảnh ba chiều 133, bộ chuyển đổi tương tự - số 135, bộ san bằng đáp ứng cục bộ hai chiều

(partial response – PR) 137, bộ tách sóng đầu ra mềm 129. Bộ soạn trang 131 sẽ định dạng dữ liệu dưới dạng các trang để ghi vào hệ thống HDS. Bộ chuyển đổi tương tự - số 135 sẽ chuyển đổi tín hiệu nhận được từ thiết bị lưu trữ thành các mẫu (sample) tín hiệu số. Bộ san bằng đáp ứng cục bộ hai chiều 137 là bộ san bằng tuyến tính hai chiều đáp ứng cục bộ. Bộ san bằng này sẽ san bằng tín hiệu nhận được từ bộ chuyển đổi tương tự - số 135 tới các tín hiệu đáp ứng cục bộ cho trước. Các tín hiệu đáp ứng cục bộ cho trước được đặc tả bởi một ma trận các hệ số của tín hiệu đáp ứng cục bộ mục tiêu (PR target). Ở đây, ma trận được sử dụng là [0 1 0; 1 10 1; 0 1 0]. Tín hiệu được san bằng sau đó sẽ được gửi tới bộ tách sóng đầu ra mềm 139. Bộ tách sóng 139 là một bộ tách sóng đầu ra mềm, có thể là bộ tách thuật toán Viterbi đầu ra mềm (SOVA – soft output Viterbi algorithm) hay bộ tách thuật toán BCJR.

Trong bước 350, bộ giải mã 150 chuyển đổi từ mã được lưu trữ trong hệ thống HDS thành dữ liệu đầu ra.

Sau đây, bộ mã hóa 110 theo sáng chế sẽ được mô tả chi tiết.

Bộ mã hóa 110 chuyển đổi một chuỗi dữ liệu người dùng đầu vào 2 bít thành các symbol 4-mức tương ứng. Cụ thể, symbol $\underline{0}$ là minh họa cho 2 bít đầu vào "00", symbol $\underline{1}$ là minh họa cho 2 bít đầu vào "01", symbol $\underline{2}$ là minh họa cho 2 bít đầu vào "10", symbol $\underline{3}$ là minh họa cho 2 bít đầu vào "11". Sau đó bộ mã hóa sẽ chuyển đổi dữ liệu đầu vào có 4 symbol thành một từ mã gồm 5 symbol trong véc-tơ có kích thước 5×1. Các từ mã được sắp xếp tuần tự vào trong một trang và lưu trong bộ đệm

Từ mã 5 symbol có thể được biểu diễn như véc-tơ $\mathcal{C}_5$ như sau:

$$\mathcal{C}_5 \equiv \left[c[p-2]\ \ c[p-1]\ \ c[p]\ \ c[p+1]\ \ c[p+2]\right]^T \qquad \text{[Biểu thức 1]}$$

Trong các hệ thống HDS 4-mức, nhiễu hai chiều trở lên lớn nhất khi symbol có giá trị lớn nhất được sắp xếp gần các symbol có giá trị nhỏ nhất. Theo sáng chế này, symbol có giá trị lớn nhất là $\underline{3}$ và symbol có giá trị nhỏ nhất là $\underline{0}$. Do đó, khi symbol $\underline{0}$ (hoặc $\underline{3}$) được bao quanh bởi nhiều các symbol $\underline{3}$ (hoặc $\underline{0}$), nhiễu hai chiều sẽ được xem

là cực đại, và ảnh hưởng của nó tới chất lượng hệ thống là lớn nhất.

Do đó, bộ mã hóa sẽ không sử dụng các mẫu $[\underline{3}\ \underline{0}\ \underline{3}]^{\mathrm{T}}$ và $[\underline{0}\ \underline{3}\ \underline{0}]^{\mathrm{T}}$ cho hệ thống HDS 4-mức. Các mã điều chế 4-mức cho hệ thống HDS sẽ được thiết kế để tránh ảnh hưởng cực đại của nhiễu hai chiều, đồng thời cũng được thiết kế để thu được khoảng cách tự do (free distance) lớn hơn nhằm tăng cường khả năng phát hiện và sửa lỗi. Quá trình mã hóa bao gồm 4 bước như sau:

Bước 1: Theo đó, bộ mã hóa sẽ xem xét 3 symbol tại vị trí chính giữa của véc-tơ $\mathcal{C}_5$ là $c[p-1]$, $c[p]$, và $c[p+1]$. Theo phương án của sáng chế, bộ mã hóa 110 sẽ không sắp xếp "3, 0, 3 " hay "0, 3, 0" vào ba vị trí chính giữa $c[p-1]$, $c[p]$, và $c[p+1]$ của véc-tơ. Nghĩa là véc-tơ $\mathcal{C}_5$ được xác định là sẽ không có các mẫu $[X\ \underline{0}\ \underline{3}\ \underline{0}\ X]^{\mathrm{T}}$ và $[X\ \underline{3}\ \underline{0}\ \underline{3}\ X]^{\mathrm{T}}$, ở đây $X \in \{\underline{0}, \underline{1}, \underline{2}, \underline{3}\}$. Kết quả là, véc-tơ $\mathcal{C}_5$ có 5 symbol, tức là có tổng cộng 1024 (do $1024 = 2^5$) mẫu, và do các mẫu $[X\ \underline{0}\ \underline{3}\ \underline{0}\ X]^{\mathrm{T}}$ và $[X\ \underline{3}\ \underline{0}\ \underline{3}\ X]^{\mathrm{T}}$ không được sử dụng, bộ mã hóa 110 chỉ có thể sử dụng 992 mẫu (do $992 = 1024 - (2 \times 16)$).

Bước 2: Tiếp theo, 992 mẫu còn lại này được chia thành 2 nhóm. Nhóm 1 bao gồm các từ mã có chứa các mẫu sau $[X\ Y\ 0\ 3\ 0]^T$, $[X\ Y\ 3\ 0\ 3]^T$, $[0\ 3\ 0\ Y\ X]]^T$, và $[3\ 0\ 3\ Y\ X]]^T$, ở đây $X \in \{0, 1, 2, 3\}$ và $Y \in \{0, 1, 2\}$. Nhóm 2 bao gồm các từ mã không chứa các mẫu [0 3 0] và [3 0 3]. Các từ mã trong nhóm 1 được minh họa trong bảng 1.

Bảng 1

	Nhóm 1			
$c[p\text{-}2]$	X	X	0	3
$c[p\text{-}1]$	Y	Y	3	0
$c[p]$	0	3	0	3
$c[p\text{+}1]$	3	0	Y	Y
$c[p\text{+}2]$	0	3	X	X

$X \in \{0, 1, 2, 3\}$ & $Y \in \{0, 1, 2\}$

Tổng số từ mã trong nhóm 1 là 48 (do $48 = 4 \times 12$). Bộ mã hóa 110 không sử

dụng các từ mã trong nhóm 1 này. Như vậy số lượng từ mã còn lại sau bước 2 là 944 (do $944 = 992 - 48$).

Bước 3: Bộ mã hóa 110 sẽ lựa chọn trong số 944 từ mã còn lại trong bước 2 một tập các từ mã, sao cho các từ mã này có khoảng cách Euclidean tối thiểu $d_{Eu} = 0,47$.

Để làm điều này, bộ mã hóa tiến hành chuẩn hóa các cường độ (intensity) của các symbol theo quy tắc sau, $\underline{0}$ tương đương với mức cường độ 0, $\underline{1}$ tương đương với mức cường độ 0.33, $\underline{2}$ tương đương với mức cường độ 0.66, $\underline{3}$ tương đương với mức cường độ 1. Bộ mã hóa sau đó tiến hành một sự tìm kiếm vét cạn (force search) để xác định tập các từ mã có $d_{Eu} = 0,47$. Khoảng cách d_{Eu} này được lựa chọn không chỉ đủ tốt để đảm bảo số lượng từ mã tốt nhất có thể cho tỷ lệ mã 4/5, mà còn thu được khoảng cách tự do lớn hơn đáng kể nhằm tăng cường khả năng phát hiện và sửa lỗi. Kết quả tìm kiếm cho thấy có 316 từ mã phù hợp.

Bước 4: Bộ mã hóa 110 tính toán giá trị trung bình sự chênh lệch giữa các symbol trong từ mã như biểu thức 2.

$$a_j = \frac{\sum_{i=1}^{4} \left| c_{i,j} - c_{i+1,j} \right|}{5}, j = 1, \ldots, 316 \qquad \text{[Biểu thức 2]}$$

trong đó, a_j là giá trị trung bình sự chênh lệch giữa các symbol trong từ mã thứ j, $c_{i,j}$ là giá trị symbol trong cell thứ i của từ mã thứ j. Bộ mã hóa sẽ lựa chọn 256 từ mã có giá trị trung bình a_j nhỏ nhất (hay từ mã tối ưu nhất), và gán tới 256 symbol 4-mức các khả năng của dữ liệu đầu vào thông qua ánh xạ 1:1. Danh sách 256 từ mã tối ưu nhất và ánh xạ 1:1 được thể hiện trên các hình vẽ từ Fig.3A tới Fig.3C.

Từ mã được lưu trong môi trường lưu trữ được giải mã bằng quyết định hợp lý cức đại (maximum likelihood) thông qua bộ giải mã 150. Từ mã có khoảng cách Euclidean nhỏ nhất so với từ mã nhận được sẽ được quyết định là từ mã đã được lưu trữ. Một ánh xạ nghịch, ngược với quy tắc ánh xạ của bộ mã hóa, được sử dụng để thu lại dữ liệu gốc đã được lưu trữ.

Sau đây, kết quả mô phỏng hệ thống và phương pháp lưu trữ dữ liệu 4-mức dạng

ảnh ba chiều sẽ được mô tả chi tiết với tham chiếu đến Fig.4 và Fig.5.

Trước tiên hệ thống HDS được mô phỏng bởi hàm trải điểm rời rạc (PSF – Pint Spread Function) được biểu diễn như biểu thức 3,

$$h[p,q] = \int_{q-1/2}^{q+1/2} \int_{p-1/2}^{p+1/2} \frac{1}{\sigma_b^2} \mathrm{sinc}^2\left(\frac{x-m_x}{\sigma_b}, \frac{y-m_y}{\sigma_b}\right) dxdy \qquad \text{[Biểu thức 3]}$$

trong đó σ_b là bậc của độ mờ; m_x và m_y là các độ sai trệch (misalignment) theo trục x và y tương ứng.

Tỷ số tín-trên-tạp (SNR – signal-to-noise ratio) được định nghĩa theo biểu thức 4,

$$\mathrm{SNR} = 10\log_{10}\left(\frac{V_p^2}{\sigma_n^2 \cdot R}\right) \qquad \text{[Biểu thức 4]}$$

Sự so sánh chất lượng tỷ lệ lỗi bít BER của mã điều chế 4-mức tốc độ 4/5 theo sáng chế, sau đây gọi là mã theo sáng chế, với mã điều chế 4-mức tốc độ 6/9 (A 6/9 four-ary modulation code for four-level holographic data storage, Japanese Journal of Applied Physics, 2013), sau đây gọi là mã 6/9 truyền thống, được chỉ ra trên Fig.4.

Chất lượng được ước tính ở đầu ra của bộ giải mã 150 và bộ tách sóng đầu ra mềm 139. Có thể thấy, chất lượng BER của mã theo sáng chế tốt hơn nhiều so với mã 6/9 truyền thống. Fig.5 cho thấy chất lượng tỷ lệ lỗi symbol SER của mã theo sáng chế và mã 6/9 truyền thống dưới tác động đồng thời của ảnh hưởng của độ mờ và độ sai trệch. Mã theo sáng chế cung cấp chất lượng hiệu quả hơn so với mã 6/9 truyền thống trong cả hai trường hợp có hoặc không có độ sai trệch. Ví dụ, mã đề xuất đạt chất lượng tốt nhất (nghĩa là không còn lỗi nữa) khi SNR lớn hơn hoặc bằng 16 dB, trong khi yêu cầu ít nhất 17 dB nếu sử dụng mã 6/9 truyền thống.

Ngoài ra, các dấu hiệu kỹ thuật được mô tả như trên có thể được thực hiện ở dạng các lệnh của chương trình mà có thể được thực hiện bằng cách sử dụng các phương tiện máy tính khác nhau và có thể được ghi nhận trong môi trường có thể đọc được bằng

máy tính. Môi trường này có thể bao gồm: các lệnh chương trình, các tệp dữ liệu, các kết cấu dữ liệu, v.v., riêng lẻ hoặc kết hợp. Các lệnh chương trình được ghi trong môi trường này có thể được thiết kế và được tạo cấu hình một cách đặc biệt cho sáng chế hoặc có thể là kiểu môi trường đã được biết đến hoặc được sử dụng bởi những người có hiểu biết trung bình trong lĩnh vực kỹ thuật phần mềm máy tính. Các ví dụ về môi trường có thể đọc được bởi máy tính bao gồm: môi trường từ, chẳng hạn như đĩa cứng HDD, đĩa mềm, băng từ, v.v.; môi trường quang, chẳng hạn như CD, DVD, v.v.; môi trường quang-từ, chẳng hạn như đĩa mềm quang học (floptical disk); và các thiết bị phần cứng như RAM (Random Access Memory), ROM (Read-Only Memory), bộ nhớ flash (flash memory). Ví dụ về chương trình lệnh có thể bao gồm không chỉ các mã ngôn ngữ máy do trình biên dịch tạo ra mà cả các mã ngôn ngữ cấp cao có thể được thực thi bởi máy tính thông qua việc sử dụng trình thông dịch, v.v. Phần cứng được đề cập ở trên có thể được vận hành như một hoặc nhiều mô-đun phần mềm thực hiện các hoạt động theo phương án của sáng chế và ngược lại.

Phương án của sáng chế được trình bày trong bản mô tả chỉ nhằm mục đích minh họa. Những người có hiểu biết trung bình trong lĩnh vực kỹ thuật có thể thực hiện các sửa đổi, thay thế, bổ sung mà không nằm ngoài phạm vi và tinh thần của sáng chế, nhưng cần lưu ý rằng, các sửa đổi, thay thế, bổ sung này cần phải nằm trong phạm vi các điểm yêu cầu bảo hộ sau đây.

Khả năng áp dụng công nghiệp

Hệ thống và phương pháp lưu trữ theo sáng chế hữu dụng trong việc cải thiện chất lượng lưu trữ trong nhiều sản phẩm của ngành công nghiệp lưu trữ dữ liệu hay ngành công nghiệp điện tử.

Yêu cầu bảo hộ

1. Hệ thống lưu trữ dữ liệu 4-mức dạng ảnh ba chiều bao gồm:

bộ mã hóa mã điều chế 4-mức được tạo cấu hình để chuyển đổi dữ liệu người dùng đầu vào thành một từ mã (codeword) 4-mức;

khối lưu trữ được tạo cấu hình để lưu trữ các từ mã được tạo thành;

bộ giải mã mã điều chế 4-mức được tạo cấu hình để khôi phục các từ mã được lưu trữ thành dữ liệu đầu ra;

bộ mã hóa mã có nhiệm vụ chính là chuyển đổi dữ liệu đầu vào có 4 ký hiệu (symbol) thành một từ mã có 5 ký hiệu (symbol) trong véc-tơ có kích thước 5×1;

trong đó, các symbol này sẽ có các giá trị thuộc một trong 4-mức $\{\underline{0}, \underline{1}, \underline{2}, \underline{3}\}$ và mỗi mức sẽ minh họa tương ứng cho 2 bít đầu vào (cụ thể, symbol $\underline{0}$ là minh họa cho 2 bít đầu vào "00", symbol $\underline{1}$ là minh họa cho 2 bít đầu vào "01", symbol $\underline{2}$ là minh họa cho 2 bít đầu vào "10", symbol $\underline{3}$ là minh họa cho 2 bít đầu vào "11").

2. Hệ thống lưu trữ dữ liệu 4-mức dạng ảnh ba chiều theo điểm 1, sẽ có tổng cộng 1024 từ mã, trong đó,

bộ mã hóa không sử dụng các mẫu (pattern) ở dạng $[X\ \underline{0}\ \underline{3}\ \underline{0}\ X]^T$ và $[X\ \underline{3}\ \underline{0}\ \underline{3}\ X]^T$ trong quá trình mã hóa, ở đây $X \in \{\underline{0}, \underline{1}, \underline{2}, \underline{3}\}$.

3. Hệ thống lưu trữ dữ liệu 4-mức dạng ảnh ba chiều theo điểm 2, trong đó,

bộ mã hóa không sử dụng các mẫu ở dạng $[X\ Y\ \underline{0}\ \underline{3}\ \underline{0}\ ]^T$ và $[X\ Y\ \underline{3}\ \underline{0}\ \underline{3}]^T$ trong quá trình mã hóa, ở đây $X \in \{\underline{0}, \underline{1}, \underline{2}, \underline{3}\}$ và $Y \in \{\underline{0}, \underline{1}, \underline{2}\}$.

4. Hệ thống lưu trữ dữ liệu 4-mức dạng ảnh ba chiều theo điểm 3, trong đó,

bộ mã hóa không sử dụng các mẫu ở dạng $[\underline{0}\ \underline{3}\ \underline{0}\ Y\ X]^T$ và $[\underline{3}\ \underline{0}\ \underline{3}\ Y\ X]^T$ trong quá trình mã hóa, ở đây $X \in \{\underline{0}, \underline{1}, \underline{2}, \underline{3}\}$ và $Y \in \{\underline{0}, \underline{1}, \underline{2}\}$.

5. Hệ thống lưu trữ dữ liệu 4-mức dạng ảnh ba chiều theo điểm 1, trong đó, bộ mã hóa sẽ sử dụng 256 từ mã 4-mức tốt nhất, tức là các từ mã không thuộc các mẫu $[X\ \underline{0}\ \underline{3}\ \underline{0}$

$X]^T$, $[X\ \underline{3}\ \underline{0}\ \underline{3}\ X]^T$, $[X\ Y\ \underline{0}\ \underline{3}\ \underline{0}\ ]^T$, $[X\ Y\ \underline{3}\ \underline{0}\ \underline{3}]^T$, $[\underline{0}\ \underline{3}\ \underline{0}\ Y\ X]^T$, và $[\underline{3}\ \underline{0}\ \underline{3}\ Y\ X]^T$, ở đây $X \in \{\underline{0}, \underline{1}, \underline{2}, \underline{3}\}$ và $Y \in \{\underline{0}, \underline{1}, \underline{2}\}$, tương ứng với 256 khả năng đầu vào của bộ mã hóa, trong đó,

các từ mã này có khoảng cách Euclidean tối thiểu $d_{Eu} = 0,47$.

6. Phương pháp lưu trữ dữ liệu 4-mức dạng ảnh ba chiều được thực hiện bởi bộ vi xử lý, phương pháp này bao gồm các bước:

mã hóa chuyển đổi dữ liệu đầu vào thành từ mã đặc trưng;

lưu trữ các từ mã đặc trưng vào môi trường lưu trữ; và

giải mã chuyển đổi từ mã từ môi trường lưu trữ thành dữ liệu đầu ra;

trong đó, bước mã hóa bao gồm việc chuyển đổi dữ liệu đầu vào có 4 symbol thành từ mã có 5 symbol trong véc-tơ 5 × 1.

7. Phương pháp lưu trữ dữ liệu 4-mức dạng ảnh ba chiều theo điểm 6, trong đó, bộ mã hóa sẽ sử dụng 256 từ mã 4-mức tốt nhất, trong đó:

các từ mã không thuộc các mẫu $[X\ \underline{0}\ \underline{3}\ \underline{0}\ X]^T$, $[X\ \underline{3}\ \underline{0}\ \underline{3}\ X]^T$, $[X\ Y\ \underline{0}\ \underline{3}\ \underline{0}\ ]^T$, $[X\ Y\ \underline{3}\ \underline{0}\ \underline{3}]^T$, $[\underline{0}\ \underline{3}\ \underline{0}\ Y\ X]^T$, và $[\underline{3}\ \underline{0}\ \underline{3}\ Y\ X]^T$, ở đây $X \in \{\underline{0}, \underline{1}, \underline{2}, \underline{3}\}$ và $Y \in \{\underline{0}, \underline{1}, \underline{2}\}$,

các từ mã này có khoảng cách Euclidean tối thiểu $d_{Eu} = 0,47$.

8. Mạch tích hợp để điều khiển quy trình bao gồm các bước:

mã hóa chuyển đổi dữ liệu đầu vào thành từ mã đặc trưng;

lưu trữ các từ mã đặc trưng vào môi trường lưu trữ; và

giải mã chuyển đổi từ mã từ môi trường lưu trữ thành dữ liệu đầu ra;

trong đó, bước mã hóa bao gồm việc chuyển đổi dữ liệu đầu vào có 4 symbol thành từ mã có 5 symbol trong véc-tơ 5 × 1.

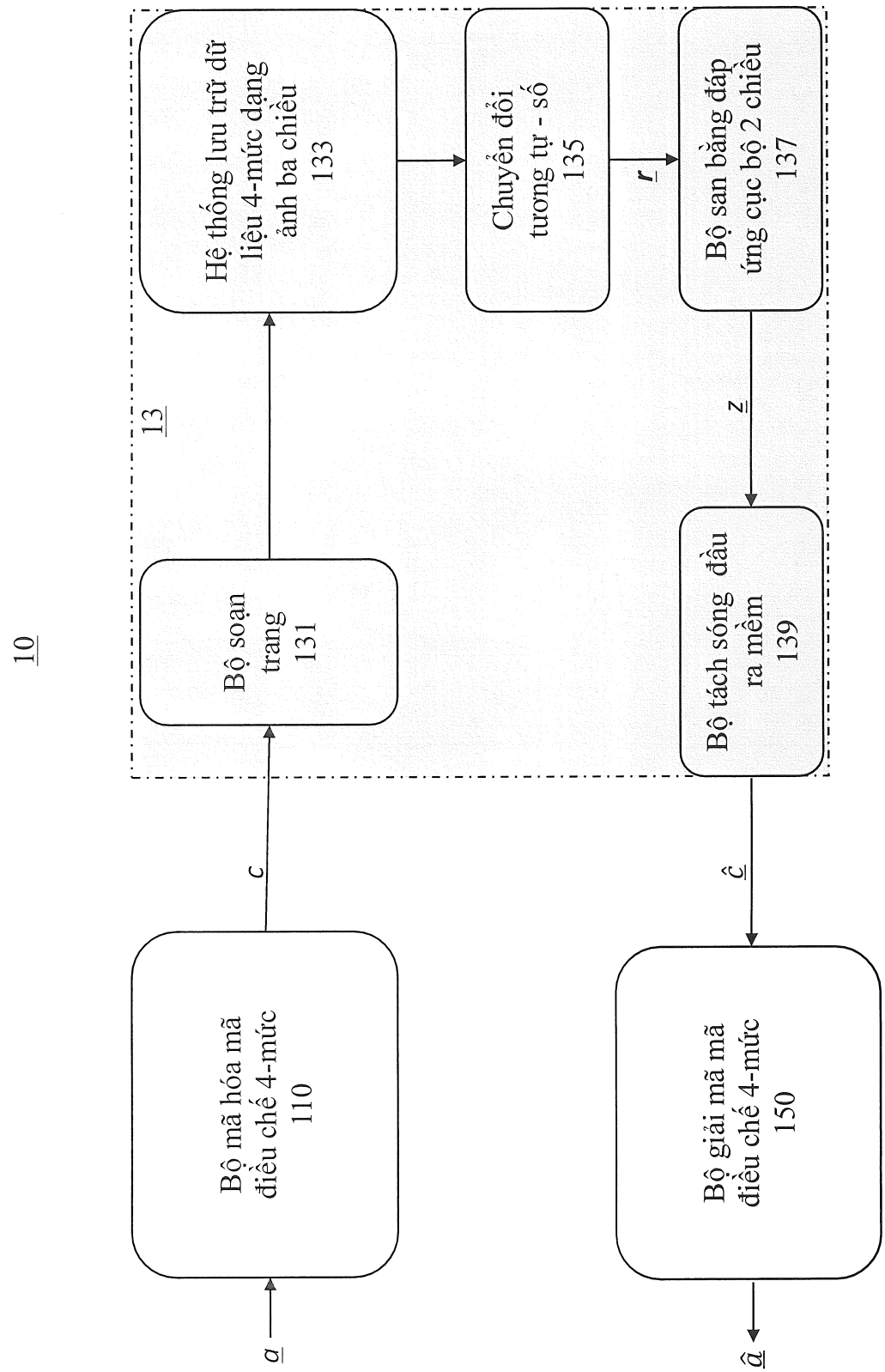

10
13
Bộ mã hóa mã điều chế 4-mức 110
Bộ soạn trang 131
Hệ thống lưu trữ dữ liệu 4-mức dạng ảnh ba chiều 133
Chuyển đổi tương tự - số 135
Bộ san bằng đáp ứng cục bộ 2 chiều 137
Bộ tách sóng đầu ra mềm 139
Bộ giải mã mã điều chế 4-mức 150
a
c
r
z
ĉ
â

Fig.1

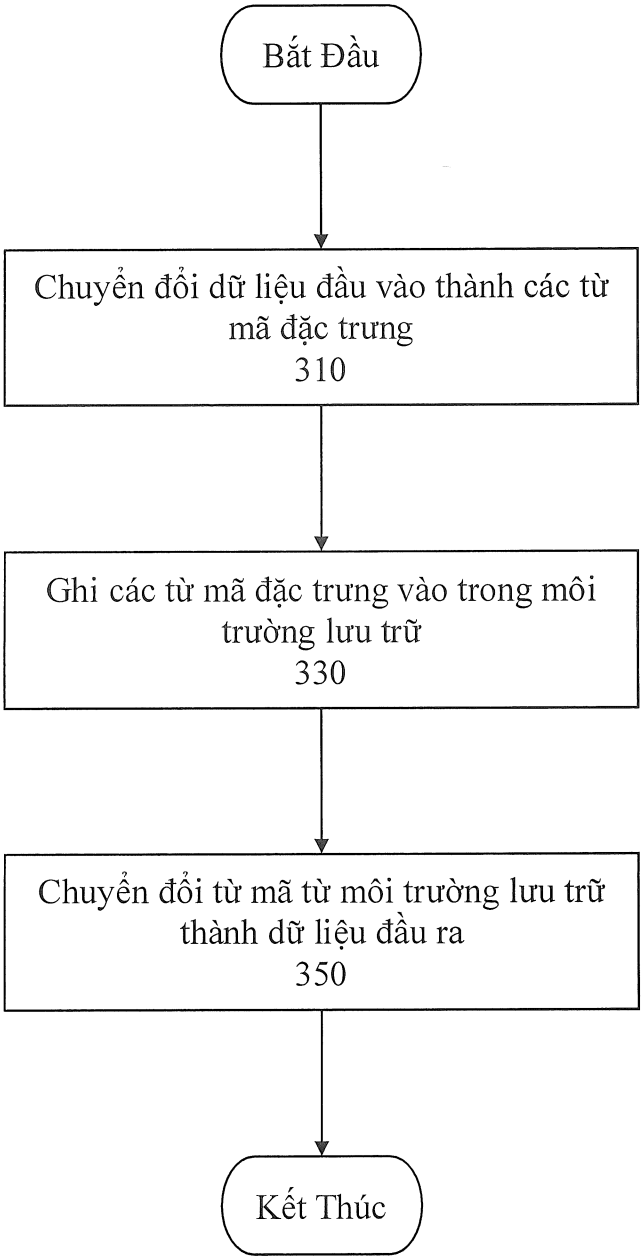

Bắt Đầu
Chuyển đổi dữ liệu đầu vào thành các từ mã đặc trưng
310
Ghi các từ mã đặc trưng vào trong môi trường lưu trữ
330
Chuyển đổi từ mã từ môi trường lưu trữ thành dữ liệu đầu ra
350
Kết Thúc

Fig.2

4 symbol đầu vào	5 symbol đầu ra	4 symbol đầu vào	5 symbol đầu ra	4 symbol đầu vào	5 symbol đầu ra	4 symbol đầu vào	5 symbol đầu ra
0 0 0 0	3 3 3 3 3	1 0 0 0	2 2 3 1 1	2 0 0 0	1 2 2 1 3	3 0 0 0	3 0 1 2 2
0 0 0 1	0 0 0 0 0	1 0 0 1	1 1 0 2 2	2 0 0 1	2 1 1 2 0	3 0 0 1	0 3 2 1 1
0 0 0 2	2 2 3 3 3	1 0 0 2	1 1 1 3 2	2 0 0 2	3 1 1 2 1	3 0 0 2	2 0 1 2 3
0 0 0 3	1 1 0 0 0	1 0 0 3	2 2 2 0 1	2 0 0 3	0 2 2 1 2	3 0 0 3	1 3 2 1 0
0 0 1 0	3 3 3 2 2	1 0 1 0	2 2 1 2 3	2 0 1 0	1 1 3 1 1	3 0 1 0	2 1 1 3 1
0 0 1 1	0 0 0 1 1	1 0 1 1	1 1 2 1 0	2 0 1 1	2 2 0 2 2	3 0 1 1	1 2 2 0 2
0 0 1 2	1 2 2 2 2	1 0 1 2	2 1 2 2 3	2 0 1 2	2 2 1 3 2	3 0 1 2	1 2 3 1 2
0 0 1 3	2 1 1 1 1	1 0 1 3	1 2 1 1 0	2 0 1 3	1 1 2 0 1	3 0 1 3	2 1 0 2 1
0 0 2 0	1 1 3 3 3	1 0 2 0	1 1 3 2 2	2 0 2 0	2 1 2 3 2	3 0 2 0	1 3 2 1 2
0 0 2 1	2 2 0 0 0	1 0 2 1	2 2 0 1 1	2 0 2 1	1 2 1 0 1	3 0 2 1	2 0 1 2 1
0 0 2 2	2 3 3 3 2	1 0 2 2	3 1 2 2 2	2 0 2 2	1 3 1 1 1	3 0 2 2	2 1 3 2 1
0 0 2 3	1 0 0 0 1	1 0 2 3	0 2 1 1 1	2 0 2 3	2 0 2 2 2	3 0 2 3	1 2 0 1 2
0 0 3 0	3 3 2 2 3	1 0 3 0	2 3 2 1 1	2 0 3 0	3 1 2 1 1	3 0 3 0	1 3 1 2 2
0 0 3 1	0 0 1 1 0	1 0 3 1	1 0 1 2 2	2 0 3 1	0 2 1 2 2	3 0 3 1	2 0 2 1 1
0 0 3 2	3 3 3 1 1	1 0 3 2	3 2 1 2 2	2 0 3 2	2 3 1 1 2	3 0 3 2	2 3 1 2 1
0 0 3 3	0 0 0 2 2	1 0 3 3	0 1 2 1 1	2 0 3 3	1 0 2 2 1	3 0 3 3	1 0 2 1 2
0 1 0 0	1 2 2 3 3	1 1 0 0	3 2 2 1 2	2 1 0 0	3 1 3 3 2	3 1 0 0	0 3 3 3 0
0 1 0 1	2 1 1 0 0	1 1 0 1	0 1 1 2 1	2 1 0 1	0 2 0 0 1	3 1 0 1	3 0 0 0 3
0 1 0 2	1 1 1 2 3	1 1 0 2	3 1 2 3 3	2 1 0 2	2 0 2 3 3	3 1 0 2	3 0 0 3 3
0 1 0 3	2 2 2 1 0	1 1 0 3	0 2 1 0 0	2 1 0 3	1 3 1 0 0	3 1 0 3	0 3 3 0 0
0 1 1 0	2 2 3 2 2	1 1 1 0	3 2 1 3 3	2 1 1 0	0 1 3 2 3	3 1 1 0	3 3 0 0 3

Fig.3A

4 symbol đầu vào	5 symbol đầu ra	4 symbol đầu vào	5 symbol đầu ra	4 symbol đầu vào	5 symbol đầu ra	4 symbol đầu vào	5 symbol đầu ra
0 1 1 1	1 1 0 1 1	1 1 1 1	0 1 2 0 0	2 1 1 1	3 2 0 1 0	3 1 1 1	0 0 3 3 0
0 1 1 2	2 3 2 2 2	1 1 1 2	3 2 3 3 1	2 1 1 2	3 3 2 0 2	3 1 1 2	3 1 3 2 3
0 1 1 3	1 0 1 1 1	1 1 1 3	0 1 0 0 2	2 1 1 3	0 0 1 3 1	3 1 1 3	0 2 0 1 0
0 1 2 0	3 2 1 1 1	1 1 2 0	3 3 1 1 3	2 1 2 0	3 3 0 2 2	3 1 2 0	3 2 3 1 3
0 1 2 1	0 1 2 2 2	1 1 2 1	0 0 2 2 0	2 1 2 1	0 0 3 1 1	3 1 2 1	0 1 0 2 0
0 1 2 2	3 2 2 2 1	1 1 2 2	1 3 3 3 1	2 1 2 2	2 3 3 0 1	3 1 2 2	3 3 1 3 1
0 1 2 3	0 1 1 1 2	1 1 2 3	2 0 0 0 2	2 1 2 3	1 0 0 3 2	3 1 2 3	0 0 2 0 2
0 1 3 0	1 2 2 1 1	1 1 3 0	1 0 1 3 3	2 1 3 0	3 2 3 1 0	3 1 3 0	1 3 1 3 3
0 1 3 1	2 1 1 2 2	1 1 3 1	2 3 2 0 0	2 1 3 1	0 1 0 2 3	3 1 3 1	2 0 2 0 0
0 1 3 2	0 3 3 3 3	1 1 3 2	3 3 0 1 1	2 1 3 2	0 2 1 3 3	3 1 3 2	1 3 3 1 3
0 1 3 3	3 0 0 0 0	1 1 3 3	0 0 3 2 2	2 1 3 3	3 1 2 0 0	3 1 3 3	2 0 0 2 0
0 2 0 0	3 3 3 3 0	1 2 0 0	3 3 1 0 1	2 2 0 0	2 2 0 3 3	3 2 0 0	2 0 3 3 2
0 2 0 1	0 0 0 0 3	1 2 0 1	0 0 2 3 2	2 2 0 1	1 1 3 0 0	3 2 0 1	1 3 0 0 1
0 2 0 2	3 3 3 0 0	1 2 0 2	0 1 3 3 2	2 2 0 2	3 2 2 3 0	3 2 0 2	3 0 2 2 3
0 2 0 3	0 0 0 3 3	1 2 0 3	3 2 0 0 1	2 2 0 3	0 1 1 0 3	3 2 0 3	0 3 1 1 0
0 2 1 0	0 0 3 3 3	1 2 1 0	2 3 3 1 0	2 2 1 0	1 2 3 3 0	3 2 1 0	1 0 3 3 1
0 2 1 1	3 3 0 0 0	1 2 1 1	1 0 0 2 3	2 2 1 1	2 1 0 0 3	3 2 1 1	2 3 0 0 2
0 2 1 2	2 3 2 3 3	1 2 1 2	1 1 0 3 3	2 2 1 2	0 2 3 3 1	3 2 1 2	3 2 3 0 1
0 2 1 3	1 0 1 0 0	1 2 1 3	2 2 3 0 0	2 2 1 3	3 1 0 0 2	3 2 1 3	0 1 0 3 2
0 2 2 0	2 3 3 2 3	1 2 2 0	2 3 3 1 2	2 2 2 0	1 3 3 2 0	3 2 2 0	3 2 0 2 3
0 2 2 1	1 0 0 1 0	1 2 2 1	1 0 0 2 1	2 2 2 1	2 0 0 1 3	3 2 2 1	0 1 3 1 0

Fig.3B

4 symbol đầu vào	5 symbol đầu ra	4 symbol đầu vào	5 symbol đầu ra	4 symbol đầu vào	5 symbol đầu ra	4 symbol đầu vào	5 symbol đầu ra
0 2 2 2	3 3 2 3 2	1 2 2 2	1 1 0 1 3	2 2 2 2	0 3 3 2 1	3 2 2 2	3 2 2 0 3
0 2 2 3	0 0 1 0 1	1 2 2 3	2 2 3 2 0	2 2 2 3	3 0 0 1 2	3 2 2 3	0 1 1 3 0
0 2 3 0	3 3 1 1 0	1 2 3 0	1 2 3 2 3	2 2 3 0	2 3 2 1 3	3 2 3 0	2 1 3 3 0
0 2 3 1	0 0 2 2 3	1 2 3 1	2 1 0 1 0	2 2 3 1	1 0 1 2 0	3 2 3 1	1 2 0 0 3
0 2 3 2	3 3 2 2 0	1 2 3 2	1 3 2 2 3	2 2 3 2	2 3 2 3 1	3 2 3 2	3 1 1 0 3
0 2 3 3	0 0 1 1 3	1 2 3 3	2 0 1 1 0	2 2 3 3	1 0 1 0 2	3 2 3 3	0 2 2 3 0
0 3 0 0	0 1 2 3 3	1 3 0 0	3 1 1 0 1	2 3 0 0	0 1 2 1 3	3 3 0 0	3 0 1 1 3
0 3 0 1	3 2 1 0 0	1 3 0 1	0 2 2 3 2	2 3 0 1	3 2 1 2 0	3 3 0 1	0 3 2 2 0
0 3 0 2	2 3 3 2 1	1 3 0 2	3 0 1 1 1	2 3 0 2	0 1 2 3 1	3 3 0 2	3 1 0 1 3
0 3 0 3	1 0 0 1 2	1 3 0 3	0 3 2 2 2	2 3 0 3	3 2 1 0 2	3 3 0 3	0 2 3 2 0
0 3 1 0	1 2 3 3 2	1 3 1 0	3 1 0 1 1	2 3 1 0	2 2 0 1 3	3 3 1 0	0 3 3 1 2
0 3 1 1	2 1 0 0 1	1 3 1 1	0 2 3 2 2	2 3 1 1	1 1 3 2 0	3 3 1 1	3 0 0 2 1
0 3 1 2	1 3 3 2 2	1 3 1 2	1 3 3 1 1	2 3 1 2	1 3 2 3 2	3 3 1 2	3 1 2 1 3
0 3 1 3	2 0 0 1 1	1 3 1 3	2 0 0 2 2	2 3 1 3	2 0 1 0 1	3 3 1 3	0 2 1 2 0
0 3 2 0	3 1 1 1 0	1 3 2 0	3 1 1 2 3	2 3 2 0	3 2 0 1 2	3 3 2 0	3 1 2 3 1
0 3 2 1	0 2 2 2 3	1 3 2 1	0 2 2 1 0	2 3 2 1	0 1 3 2 1	3 3 2 1	0 2 1 0 2
0 3 2 2	2 1 1 3 3	1 3 2 2	1 2 2 3 1	2 3 2 2	3 1 1 3 2	3 3 2 2	1 1 0 3 1
0 3 2 3	1 2 2 0 0	1 3 2 3	2 1 1 0 2	2 3 2 3	0 2 2 0 1	3 3 2 3	2 2 3 0 2
0 3 3 0	2 1 1 1 3	1 3 3 0	1 2 3 2 1	2 3 3 0	0 2 3 1 1	3 3 3 0	0 3 1 1 2
0 3 3 1	1 2 2 2 0	1 3 3 1	2 1 0 1 2	2 3 3 1	3 1 0 2 2	3 3 3 1	3 0 2 2 1
0 3 3 2	3 1 1 1 2	1 3 3 2	1 3 2 2 1	2 3 3 2	1 2 3 1 0	3 3 3 2	3 2 0 2 1
0 3 3 3	0 2 2 2 1	1 3 3 3	2 0 1 1 2	2 3 3 3	2 1 0 2 3	3 3 3 3	0 1 3 1 2

Fig.3C

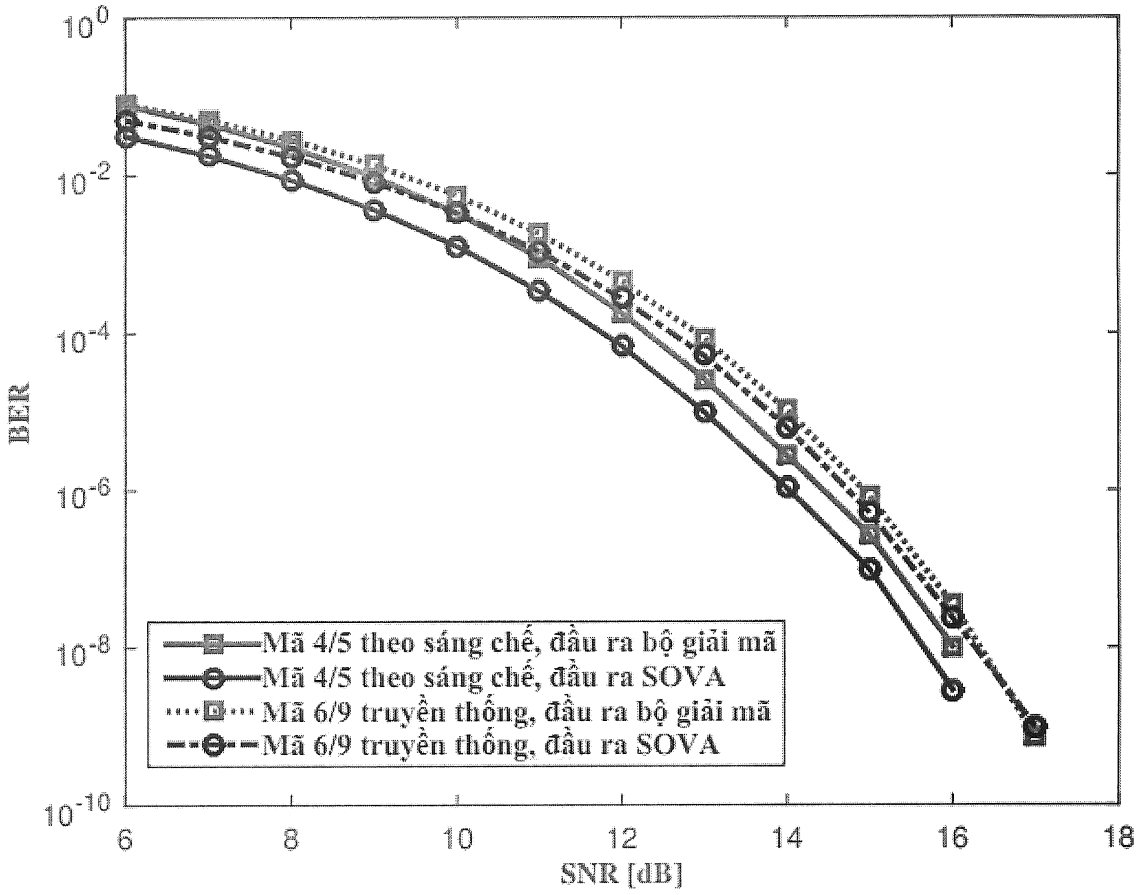

BER
SNR [dB]
Mã 4/5 theo sáng chế, đầu ra bộ giải mã
Mã 4/5 theo sáng chế, đầu ra SOVA
Mã 6/9 truyền thống, đầu ra bộ giải mã
Mã 6/9 truyền thống, đầu ra SOVA

Fig.4

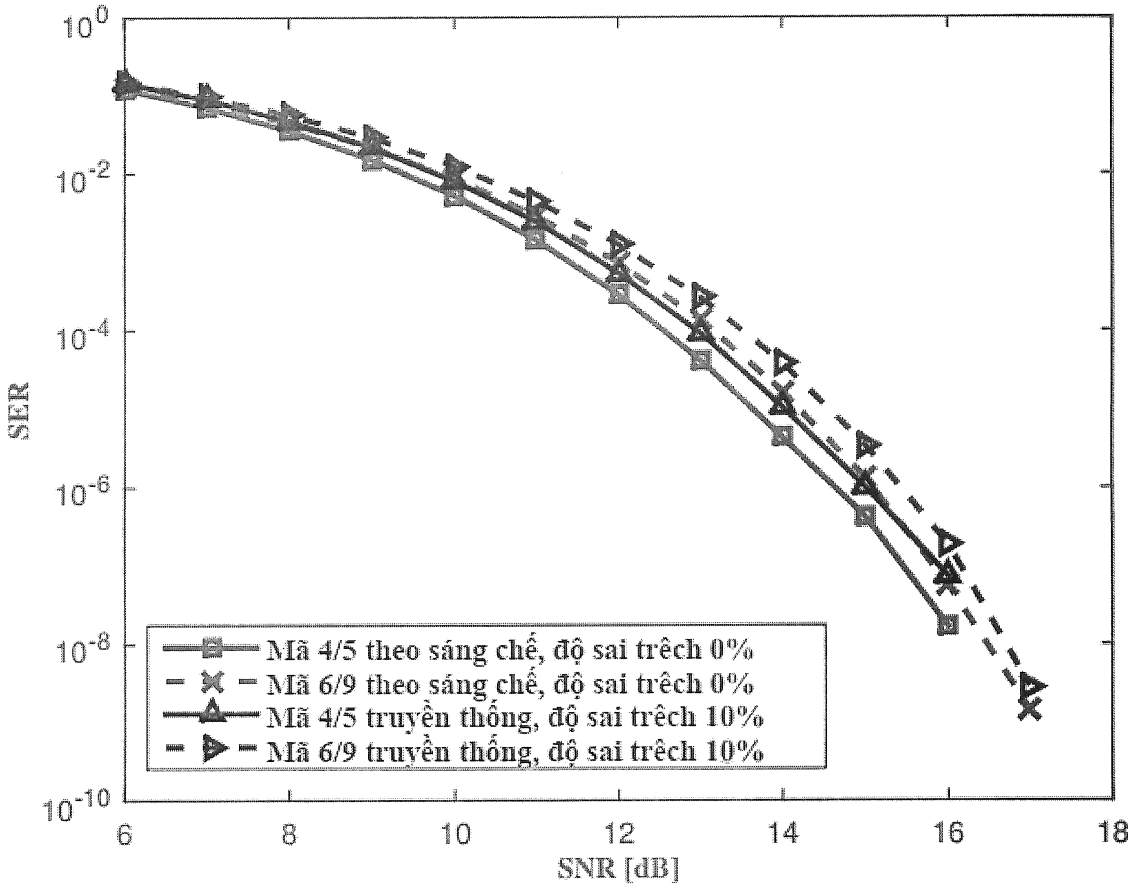

SER
SNR [dB]
Mã 4/5 theo sáng chế, độ sai trêch 0%
Mã 6/9 theo sáng chế, độ sai trêch 0%
Mã 4/5 truyền thống, độ sai trêch 10%
Mã 6/9 truyền thống, độ sai trêch 10%

Fig.5