

## ĐỀ XUẤT HỆ THỐNG THU PHÁT MIMO 2x2 SỬ DỤNG STLC ĐƯỜNG XUỐNG VÀ STBC ĐƯỜNG LÊN CHO MẠNG CẢM BIẾN KHÔNG DÂY

### PROPOSED 2x2 MIMO TRANSCEIVER SYSTEM USING DOWNLINK STLC AND UPLINK STBC FOR WIRELESS SENSOR NETWORK

**Trần Hoài Trung**

Trường Đại học Giao thông Vận tải

Ngày nhận bài: 04/08/2023, Ngày chấp nhận đăng: 27/10/2023, Phản biện: TS. Dương Thị Thanh Tú

#### **Tóm tắt:**

Mã hóa đường không gian - thời gian STLC cho phép máy phát có thể phát ký tự đạt được độ phân tập không gian lớn nhất máy phát không cần có thông tin trạng thái kênh CSI ở máy thu đối với mạng cảm biến không dây. Điều này tương tự như mã hóa khối không gian - thời gian STBC cho phép máy thu đạt được độ phân tập không gian lớn nhất mà không cần CSI tại máy phát. Đã có các nghiên cứu về kiến trúc thu phát cho việc truyền dữ liệu như bộ tổng hợp dữ liệu FC và các cảm biến trong mạng cảm biến không dây WSN. Trong đó, đường xuống từ bộ tổng hợp đến cảm biến dùng STLC và đường lên sử dụng STBC. Lúc này, CSI chỉ cần thiết cho bộ tổng hợp nhưng không cần cho các cảm biến. Thông thường, kiến trúc này sử dụng mô hình hai anten cho bộ tổng hợp và một anten cho cảm biến. Trong bài báo này, mô hình MIMO 2x2 được áp dụng cho cả ở bộ tổng hợp và cảm biến. Mô hình cải tiến này sẽ làm giảm tốc độ lỗi bit đồng thời tăng dung lượng kênh truyền.

#### **Từ khóa:**

STBC, STLC, MIMO.

#### **Abstract:**

The Space-Time Line Coding STLC allows the transmitter to send symbols with maximum spatial diversity without needing Channel State Information CSI at the receiver for wireless sensor networks. This coding is similar to Space-Time Block Coding STBC, allowing the receiver to achieve maximum spatial diversity without needing CSI at the transmitter. There have been studies on transceiver architectures for data transmission, such as the Fusion Centre (FC) and sensors in wireless sensor networks WSN. The downlink from the FC to the sensor uses STLC, and the uplink uses STBC. Currently, CSI is only necessary for the FC rather than the sensors. Typically, this architecture uses a model of two antennas for the FC and one antenna for the sensor. This paper applies the 2x2 MIMO model to the FC and the sensor. This improved model will reduce the bit error rate while increasing the channel capacity.

#### **Keywords:**

STBC, STLC, MIMO.

#### **1. GIỚI THIỆU**

Internet kết nối vạn vật IoT sử dụng mạng

cảm biến không dây WSN đang là một xu hướng tất yếu khi cho phép kết nối số

lượng thiết bị tương thích và sẽ cho phép thiết kế mạng tiêu thụ năng lượng thấp bằng cách hiện thực hóa kết nối toàn cầu [1]. Hệ thống IoT kết hợp mạng cảm biến không dây thông ngoài quan tâm đến hiệu suất năng lượng thì tốc độ lỗi bit cũng như tốc độ truyền giữa bộ tổng hợp dữ liệu FC và nút cảm biến cũng rất cần thiết [2]. Việc sử dụng mã hóa khối không gian thời gian STBC và mã hóa đường không gian thời gian STLC được thực hiện cho việc truyền dẫn này [3]. Khi máy thu đa anten có thông tin kênh CSI, mã hóa không gian thời gian STC như STBC có thể cung cấp một độ lợi phân tập không gian đầy đủ. Tương tự như vậy, STLC cũng đạt được độ phân tập lớn nhất khi máy phát có thông tin CSI. Điều này dẫn đến việc hai loại mã hóa có thể đảm bảo độ phân tập và tốc độ cao hơn các kỹ thuật kết hợp tỷ lệ lớn nhất MRC hay kỹ thuật phát tỷ lệ tối đa MRT được thiết lập để đạt được độ lợi phân tập không gian đầy đủ khi máy phát với nhiều anten biết được CSI.

Một số nghiên cứu tập trung hệ thống STBC với anten MIMO để đạt được phân tập đầy đủ [4] hay tăng tốc độ mã hóa [5], [6]. Ngoài ra kỹ thuật STLC cũng đã được nghiên cứu khi mở rộng mô hình anten MIMO nhằm giảm lỗi bit và tăng tốc độ truyền dẫn [3]. Đây còn được gọi là hệ thống anten MIMO 2x2 khi sử dụng hai anten cả ở máy phát và máy thu. Nếu sử dụng MIMO 2x2 thông thường trong vô tuyến thì hệ thống khó có thể đạt được độ lợi phân tập cao, từ đó dẫn đến dung lượng thu phát không lớn. Khi thêm STLC thì do tính chất mã hóa trực giao cao nên độ lợi phân tập không gian sẽ lớn. Điều này tương tự với STBC kết hợp

MIMO 2x2.

Bài báo đề xuất một hệ thống đầy đủ 2 anten phát và thu (MIMO 2x2) với STLC đường xuống và STBC đường lên trong đó tốc độ lỗi bit và dung lượng được cải thiện so với các trường hợp khác.

## 2. MÔ HÌNH STLC anten 1x2 VÀ STBC anten 2x1

**STLC đường xuống anten 1x2 [3]:** (xem Hình 1).

Tín hiệu phát theo Hình 1 (trong đó A là bộ tổng hợp dữ liệu còn B là cảm biến):

$$\begin{bmatrix} s_1^* \\ s_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_1 & h_2 \\ h_2^* & -h_1^* \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \end{bmatrix} \quad (1)$$

Trong đó:

$s_1, s_2$  là ký hiệu đầu ra bộ mã hóa;

$\tilde{h}_1, \tilde{h}_2$  là hệ số pha định ước lượng giữa anten phát và hai anten thu;

$a_1, a_2$  là ký hiệu đầu vào bộ mã hóa.

$$s_1^* = h_1 a_1 + h_2 a_2 \rightarrow s_1 = h_1^* a_1^* + h_2^* a_2^*$$

$$s_2 = h_2^* a_1 - h_1^* a_2$$

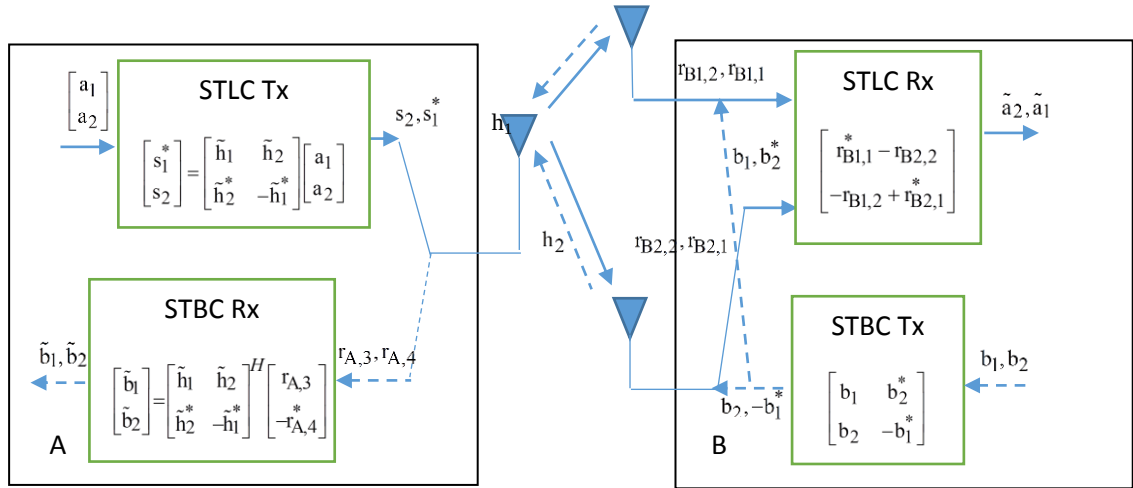
Tín hiệu thu:

$$\begin{bmatrix} r_{B1,1} & r_{B1,2} \\ r_{B2,1} & r_{B2,2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_1 \\ h_2 \end{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{\gamma_2}} \begin{bmatrix} s_1 & s_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} z_{B1,1} & z_{B1,2} \\ z_{B2,1} & z_{B2,2} \end{bmatrix} \quad (2)$$

$r_{Bi,j}, i=1:2, j=1:2$  là tín hiệu thu ở anten  $i$  tại thời điểm  $j$ ;

$h_1, h_2$  là hệ số pha định giữa anten phát và hai anten thu;

$z_{Bi,j}, i=1:2, j=1:2$  là nhiễu thu ở anten  $i$  tại thời điểm  $j$ .



Hình 1. Mô hình STLC Anten 1x2 đường xuống và STBC Anten 2x1 đường lên

Giả thiết ước lượng kênh tại A chính xác:

$h_1 = h_1$  và  $h_2 = h_2$ . Từ đó, ta suy ra:

$$r_{B1,1} = \frac{1}{\sqrt{\gamma_2}} h_1 \left( h_1^* a_1 + h_2^* a_2 \right) + z_{B1,1} \rightarrow$$

$$r_{B1,1} = \frac{1}{\sqrt{\gamma_2}} \left( a_1^* \frac{\gamma_2}{2} + h_1 h_2^* a_2^* \right) + z_{B1,1}$$

$$\rightarrow r_{B1,1}^* = \frac{\sqrt{\gamma_2}}{2} a_1 + \frac{1}{\sqrt{\gamma_2}} h_1^* h_2 a_2 + z_{B1,1}^* \quad (3)$$

$$r_{B1,2} = \frac{1}{\sqrt{\gamma_2}} h_1 \left( h_2^* a_1 - h_1^* a_2 \right) + z_{B1,2} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} r_{B2,1} &= \frac{1}{\sqrt{\gamma_2}} h_2 \left( h_1^* a_1 + h_2^* a_2 \right) + z_{B2,1} \\ &= \frac{1}{\sqrt{\gamma_2}} \left( h_2 h_1^* a_1 + a_2^* \frac{\gamma_2}{2} \right) + z_{B2,1} \end{aligned}$$

$$\rightarrow r_{B2,1}^* = \frac{1}{\sqrt{\gamma_2}} h_2^* h_1 a_1 + \frac{\sqrt{\gamma_2}}{2} a_2 + z_{B2,1}^* \quad (5)$$

$$\begin{aligned} r_{B2,2} &= \frac{1}{\sqrt{\gamma_2}} h_2 \left( h_2^* a_1 - h_1^* a_2 \right) + z_{B2,2} \\ &= \frac{\sqrt{\gamma_2}}{2} a_1 - \frac{1}{\sqrt{\gamma_2}} h_1^* h_2 a_2 + z_{B2,2} \end{aligned} \quad (6)$$

Như vậy, từ (3), (4), (5) và (6), ta có:

$$r_{B1,1}^* + r_{B2,2} = \sqrt{\gamma_2} a_1 + z_{B1,1}^* + z_{B2,2} \quad (7)$$

$$-r_{B1,2} + r_{B2,1}^* = \sqrt{\gamma_2} a_2 + z_{B2,1}^* - z_{B1,2} \quad (8)$$

**STBC đường lên Anten 2x1 [7]:**

Tín hiệu phát theo Hình 1:

$$r_{A,3} = \frac{1}{\sqrt{2}} (b_1 h_1 + b_2 h_2) \quad (9)$$

$$r_{A,4} = \frac{1}{\sqrt{2}} (b_2^* h_1 - b_1^* h_2) \rightarrow$$

$$r_{A,4}^* = \frac{1}{\sqrt{2}} (b_2 h_1^* - b_1 h_2^*) \quad (10)$$

$r_{A,i}, i=3:4$  là tín hiệu thu ở Anten tại thời điểm  $i$ ;

$b_1, b_2$  là ký hiệu đầu vào bộ mã hóa.

$$\begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_1 & h_2 \\ h_2^* & -h_1^* \end{bmatrix}^H \begin{bmatrix} r_{A,3} \\ -r_{A,4}^* \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} z_{A,3} \\ z_{A,4} \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} h_1^* & h_2 \\ h_2^* & -h_1^* \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}}(b_1 h_1 + b_2 h_2) \\ \frac{1}{\sqrt{2}}(-b_2 h_1^* + b_1 h_2^*) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} z_{A,3} \\ z_{A,4} \end{bmatrix} \quad (11)$$

$z_{A,i}, i=3:4$  là nhiễu thu anten tại thời điểm  $j$ .  $\tilde{b}_1, \tilde{b}_2$  là ước lượng của  $b_1, b_2$ .

$$\begin{aligned} & h_1^* \frac{1}{\sqrt{2}}(b_1 h_1 + b_2 h_2) \\ & + h_2 \frac{1}{\sqrt{2}}(-b_2 h_1^* + b_1 h_2^*) + z_{A,3} \\ & = \frac{1}{\sqrt{2}}(|h_1|^2 + |h_2|^2)b_1 + z_{A,3} = \frac{\gamma_2}{\sqrt{2}}b_1 + z_{A,3} \\ & h_2^* \frac{1}{\sqrt{2}}(b_1 h_1 + b_2 h_2) \\ & - h_1^* \frac{1}{\sqrt{2}}(-b_2 h_1^* + b_1 h_2^*) + z_{A,4} \\ & = \frac{1}{\sqrt{2}}(|h_1|^2 + |h_2|^2)b_2 + z_{A,4} = \frac{\gamma_2}{\sqrt{2}}b_2 + z_{A,4} \end{aligned} \quad (12)$$

### 3. ĐỀ XUẤT MÔ HÌNH STLC VÀ STBC KẾT HỢP MIMO 2x2

#### STLC đường xuống MIMO 2x2 (Hình 2)

Giả thiết ước lượng kênh tại A chính xác:  
 $h_{11} = h_{11}, h_{12} = h_{12}, h_{21} = h_{21}, h_{22} = h_{22}$ .

Ở đây,  $h_{i,j}, \tilde{h}_{i,j}, i=1:2, j=1:2$  là hệ số pha đỉnh thực và ước lượng giữa anten phát  $i$  và anten thu  $j$ .

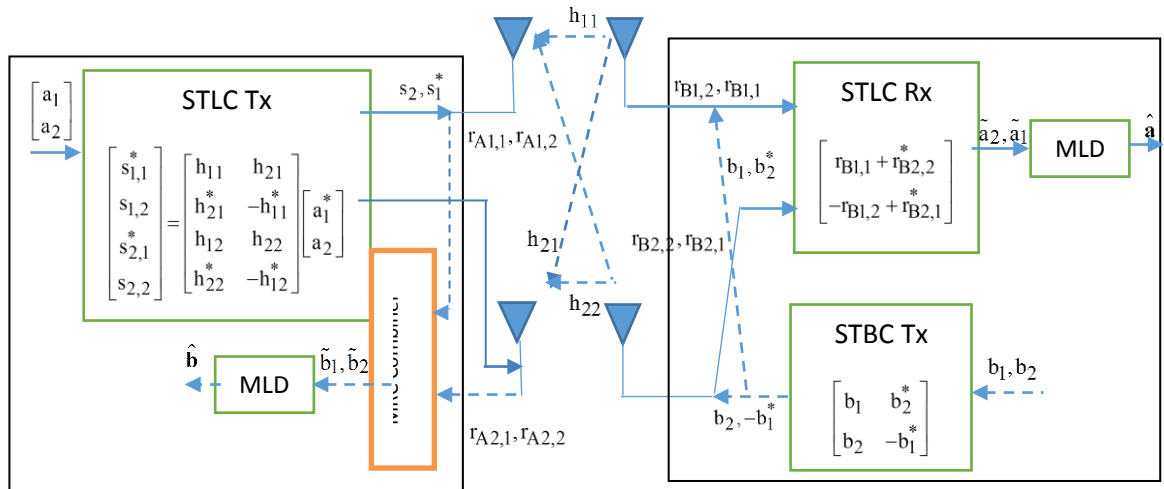
Tín hiệu phát:

$$\begin{aligned} s_{1,1}^* &= h_{1,1}a_1^* + h_{2,1}a_2^* \\ \rightarrow s_{1,1} &= h_{1,1}^*a_1 + h_{2,1}^*a_2^* \end{aligned} \quad (14)$$

$$s_{1,2} = h_{2,1}^*a_1^* - h_{1,1}a_2^* \quad (15)$$

$$\begin{aligned} s_{2,1}^* &= h_{1,2}a_1^* + h_{2,2}a_2^* \\ \rightarrow s_{2,1} &= h_{1,2}^*a_1 + h_{2,2}^*a_2^* \end{aligned} \quad (16)$$

$$s_{2,2} = h_{2,2}^*a_1^* - h_{1,2}a_2^* \quad (17)$$



Hình 2. Mô hình STLC MIMO 2x2 đường xuống và STBC MIMO 2x2 đường lên

$$\begin{bmatrix} r_{B1,1} & r_{B1,2} \\ r_{B2,1} & r_{B2,2} \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{\gamma_4}} \begin{bmatrix} h_{1,1} & h_{1,2} \\ h_{2,1} & h_{2,2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} h_{1,1}^* a_1 + h_{2,1}^* a_2 & h_{2,1}^* a_1 - h_{1,1}^* a_2 \\ h_{1,2}^* a_1 + h_{2,2}^* a_2 & h_{2,2}^* a_1 - h_{1,2}^* a_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} z_{B1,1} & z_{B1,2} \\ z_{B2,1} & z_{B2,2} \end{bmatrix} \quad (18)$$

$r_{B,i,j}, i=1:2, j=1:2$  là tín hiệu thu ở anten  $i$  tại thời điểm  $j$ ;

$z_{B,i,j}, i=1:2, j=1:2$  là nhiễu thu ở anten  $i$  tại thời điểm  $j$ .

$$r_{B1,1} = \frac{1}{\sqrt{\gamma_4}} \left( h_{1,1}^* h_{1,1} a_1 + h_{1,1}^* h_{2,1} a_2 \right) + z_{B1,1} \quad (19)$$

$$r_{B2,2} = \frac{1}{\sqrt{\gamma_4}} \left( h_{2,1}^* h_{2,1} a_1 - h_{2,1}^* h_{1,1} a_2 \right) + z_{B2,2} \quad (20)$$

$$\rightarrow r_{B2,2}^* = \frac{1}{\sqrt{\gamma_4}} \left( h_{2,1}^* h_{2,1} a_1 - h_{2,1}^* h_{1,1} a_2 \right) + z_{B2,2}^* \quad (21)$$

Giả thiết ước lượng kênh tại A chính xác:

$$h_{11} = h_{11}, h_{12} = h_{12}, h_{21} = h_{21}, h_{22} = h_{22}$$

$$\tilde{a}_1 = r_{B1,1} + r_{B2,2}^*$$

$$= a_1 \frac{1}{\sqrt{\gamma_4}} \left( |h_{11}|^2 + |h_{12}|^2 \right) + z_{B1,1} + z_{B2,2}^* \quad (22)$$

### STBC đường lên MIMO 2x2 (Hình 2)

Tín hiệu thu:

$$r_{A1,1} = \frac{1}{\sqrt{2}} (h_{11} b_1 + h_{12} b_2) + z_{A1,1} \quad (23)$$

$$r_{A1,2} = \frac{1}{\sqrt{2}} (h_{11} b_2^* - h_{12} b_1^*) + z_{A1,2}$$

$$\rightarrow r_{A1,2}^* = \frac{1}{\sqrt{2}} (h_{11}^* b_2 - h_{12}^* b_1) + z_{A1,2}^* \quad (24)$$

$$r_{A2,1} = \frac{1}{\sqrt{2}} (h_{21} b_1 + h_{22} b_2) + z_{A2,1} \quad (25)$$

$$r_{A2,2} = \frac{1}{\sqrt{2}} (h_{21} b_2^* - h_{22} b_1^*) + z_{A2,2}$$

$$\rightarrow r_{A2,2}^* = \frac{1}{\sqrt{2}} (h_{21}^* b_2 - h_{22}^* b_1) + z_{A2,2}^* \quad (26)$$

$r_{Ai,j}, z_{Ai,j}, i=1:2, j=1:2$  là tín hiệu thu và nhiễu ở anten thứ  $i$  tại thời điểm  $j$ .

$$\begin{bmatrix} r_{A1,1} \\ r_{A2,1} \\ r_{A1,2}^* \\ r_{A2,2}^* \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} \\ h_{21} & h_{22} \\ -h_{12}^* & h_{11}^* \\ -h_{22}^* & h_{21}^* \end{bmatrix} \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} z_{A1,1} \\ z_{A2,1} \\ z_{A1,2}^* \\ z_{A2,2}^* \end{bmatrix} \quad (27)$$

Giả thiết ước lượng kênh tại A chính xác:

$$h_{11} = h_{11}, h_{12} = h_{12}, h_{21} = h_{21}, h_{22} = h_{22}$$

$$b_1 = h_{11}^* r_{A1,1} + h_{21}^* r_{A2,1}$$

$$-h_{12}^* r_{A1,2}^* - h_{22}^* r_{A2,2}^*$$

$$= h_{11}^* \left( \frac{1}{\sqrt{2}} (h_{11} b_1 + h_{12} b_2) + z_{A1,1} \right) + h_{21}^* \left( \frac{1}{\sqrt{2}} (h_{21} b_1 + h_{22} b_2) + z_{A2,1} \right) - h_{12}^* \left( \frac{1}{\sqrt{2}} (h_{11}^* b_2 - h_{12}^* b_1) + z_{A1,2}^* \right) - h_{22}^* \left( \frac{1}{\sqrt{2}} (h_{21}^* b_2 - h_{22}^* b_1) + z_{A2,2}^* \right) \quad (28)$$

$$= b_1 \frac{1}{\sqrt{2}} \left( |h_{11}|^2 + |h_{12}|^2 + |h_{21}|^2 + |h_{22}|^2 \right) + h_{11}^* z_{A1,1} - \widetilde{h_{12}^* z_{A1,2}^*} + \widetilde{h_{21}^* z_{A2,1}} - \widetilde{h_{22}^* z_{A2,2}^*}$$

#### 4. MÔ PHÒNG

Trong phần mô phỏng, tác giả tập trung vào thiết bị thu phát trong mạng cảm biến không dây. Trong đó, máy thu và phát đều sử dụng điều chế BPSK. Hệ thống STLC đường xuống sử dụng MIMO 2 anten phát và 2 anten thu cho mô hình cải tiến. Máy phát truyền hai ký hiệu BPSK trong khoảng thời gian 2 ký hiệu đến máy thu. Ngược lại máy thu sử dụng MIMO 2x2 truyền dữ liệu STBC để truyền hai ký hiệu 8-PSK trong khoảng thời gian hai ký hiệu. Tốc độ truyền giữa máy phát và thu thường 1-3 bit/s/Hz. Băng tần truyền dẫn là 20 MHz. Công suất tín hiệu cho cả máy phát và máy thu là 1-10 (dBW) trong đó công suất nhiễu là 0.6 (W). Môi trường sử dụng pha đỉnh Rayleigh có giá trị trung bình là 0 và phương sai là 1.

Tác giả sử dụng tốc độ lỗi bit BER cho BPSK (Gold Smith) được xác định là:

$$BER = Q(\sqrt{2SNR}) \quad (29)$$

Trong đó SNR là tỷ số tín hiệu trên nhiễu, với trường hợp STLC 1x2, theo phương trình (7) và (8), ta có:

$$SNR_{STLC} = \frac{\gamma_2 \sigma_x^2}{2\sigma_z^2} \quad (30)$$

ở đây  $\sigma_x^2$  là công suất phát còn  $\sigma_z^2$  là công suất nhiễu của nhiễu tại một anten thu.

Tương tự theo phương trình (12) và (13) ta có SNR trong trường hợp STBC 2x2 thì:

$$SNR_{STBC} = SNR_{STLC} = \frac{\gamma_2 \sigma_x^2}{2\sigma_z^2} \quad (31)$$

Trong mô hình đề xuất thì SNR cho trường hợp STLC MIMO 2x2 theo (22) sẽ là:

$$SNR_{STLC} = \frac{\gamma_4 \sigma_x^2}{2\sigma_z^2} \quad (32)$$

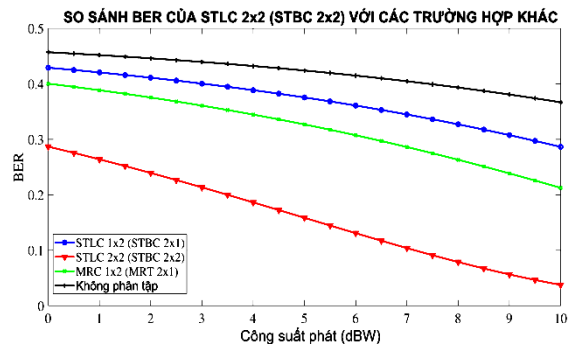
Tương tự SNR cho trường hợp STBC MIMO 2x2 theo (28) là:

$$SNR_{STBC} = \frac{\gamma_4 \sigma_x^2}{2\sigma_z^2} \quad (33)$$

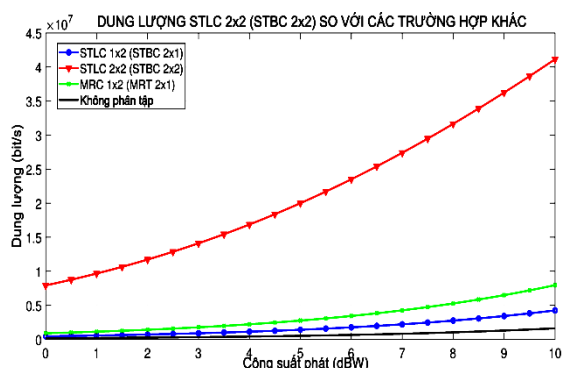
Khi so sánh với trường hợp MRC (phân tập thu) và MRT (phân tập phát) với SNR như sau:

$$SNR_{MRC} = SNR_{MRT} = \frac{\gamma_2 \sigma_x^2}{\sigma_z^2} \quad (34)$$

Nếu so sánh tốc độ lỗi bit BER của trường hợp STLC MIMO 2x2 (tương tự trường hợp STBC MIMO 2x2) với các trường hợp STLC anten 1x2 (hay STBC anten 2x1); trường hợp phân tập phát MRC anten 1x2 (MTR anten 2x1) và không phân tập thì thấy mô hình đề xuất STLC (STBC) MIMO 2x2 có tốc độ lỗi thấp nhất (Hình 3), đồng thời có dung lượng cao nhất (Hình 4).



Hình 3. So sánh tốc độ lỗi bit BER



Hình 4. So sánh dung lượng đường truyền

## 5. KẾT LUẬN

Bài báo đã đề xuất mô hình STLC 2×2

hay STBC 2×2 được cải tiến từ mô hình STLC anten 1×2 (STBC anten 2×1). Các tín hiệu vào ra máy thu phát cũng như tỷ số tín hiệu trên nhiễu được tính cho các trường hợp khác nhau. Với mô hình đề xuất thì tốc độ lỗi bit hay dung lượng kênh được cải thiện đáng kể so với các trường hợp khác.

## LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Giao thông Vận tải trong đề tài mã số T2023-DT-007.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] M. Al-Jarrah, M. Yaseen, A. Al-Dweik, O.A. Dobre, E. Alsusa "Decision Fusion For Iot-Based Wireless Sensor Networks," IEEE Internet of Things Journal, Vol 7 Issue 2, 2020.
- [2] Shree Krishna Sharma, Tadilo Endeshaw Bogale, Symeon Chatzinotas, Xianbin Wang, Long Bao Le "Physical Layer Aspects of Wireless IoT," International Symposium on Wireless Communication Systems (ISWCS), 2016.
- [3] Jingon Joung "Space-Time Line Code," IEEE Access, Vol 6: 1023 – 1041, 2017.
- [4] Huan Ma, Guofa Cai, Yi Fang; Pingping Chen, Guojun Han "Design and Performance Analysis of a New STBC-MIMO LoRa System," Specialty IEEE Transactions on Communications, Vol 69 (9): 5744 - 5757, 2021.
- [5] Ravi Kumar Rajiv Saxena "Performance Analysis of MIMO-STBC Systems with Higher Coding Rate Using Adaptive Semiblind Channel Estimation Scheme," The Scientific World Journal, 2014.
- [6] Hafiz M. Asif "Analysis of space time block codes and cosets for 5G and its applications," Computer Communications, Vol 149: 189-193, 2020.
- [7] Priyanka Mishra, Gurpreet Singh, Rahul Vij, Gaurav Chandil "Analysis of space time block codes and cosets for 5G and its applications," 3rd IEEE International Advance Computing Conference (IACC), 2013.

## Giới thiệu tác giả:



Tác giả Trần Hoài Trung tốt nghiệp Trường Đại học Giao thông Vận tải năm 1997; nhận bằng Thạc sĩ tại Đại học Bách khoa Hà Nội năm 2000, bằng Tiến sĩ ngành kỹ thuật viễn thông tại Đại học Công nghệ Sydney (Úc) năm 2008. Hiện nay tác giả là giảng viên Trường Đại học Giao thông Vận tải.

Lĩnh vực nghiên cứu: xử lý tín hiệu số (DSP), lý thuyết thông tin ứng dụng, truyền sóng vô tuyến, kỹ thuật anten MIMO và thiết kế bộ thu phát không dây tiên tiến.