

TÌM HIỂU KỸ THUẬT ĐẢO NGƯỢC THỜI GIAN VÀ PHÂN TÍCH DUNG LƯỢNG KÊNH TRONG HỆ THỐNG MIMO-UWB

Hồ Đức Tâm Linh*, Nguyễn Văn Phú, Đặng Xuân Vinh
Khoa Điện tử - Viễn thông, Trường Đại học Khoa học Huế
* Email: hodutali@gmail.com

TÓM TẮT

Dung lượng kênh truyền trong hệ thống Băng siêu rộng (UWB) tăng đáng kể khi kết hợp kỹ thuật đảo ngược thời gian (Time Reversal - TR) với kỹ thuật đa anten vào ra (Multi-Input Multi-Output – MIMO). Tuy nhiên, trong thực tế khi sử dụng nhiều anten tại bộ phát và bộ thu, luôn tồn tại sự tương quan không gian giữa chúng, làm cho dung lượng kênh truyền giảm xuống. Trong bài báo này, dung lượng kênh truyền của hệ thống MU - MIMO - TR - UWB được phân tích và đánh giá cả hai trường hợp có tác động và không có tác động của hệ số tương quan. Ngoài ra, sự thay đổi số lượng anten đầu vào và đầu ra cũng tác động lớn đến dung lượng của hệ thống UWB. Đặc biệt, bài báo đã chỉ ra được sự tác động mạnh của tương quan thu so với tương quan phát, đồng thời chúng tôi cũng đã phân tích và đánh giá được điểm mạnh và điểm yếu của hệ thống MIMO khi số người sử dụng tăng lên.

Từ khóa: UWB, TR, MIMO, MIMO-UWB, TR-UWB, MU-MIMO-UWB-TR

1. GIỚI THIỆU

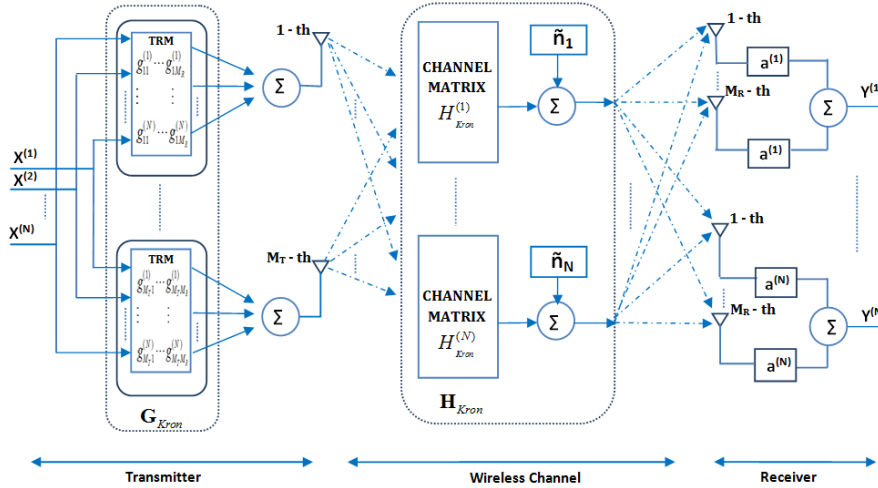
Công nghệ truyền thông Wifi đang phát triển rất mạnh trong mạng thông tin khoảng cách ngắn. Tuy nhiên với tốc độ hiện tại, để đáp ứng nhu cầu cho sự gia tăng các dịch vụ đòi hỏi tốc độ cao và dung lượng lớn thì không thể đáp ứng được. Băng siêu rộng (Ultra Wideband – UWB) ra đời nhằm giải quyết một cách hoàn hảo các vấn đề hạn chế băng thông trong môi trường truyền thông không dây [1 - 3]. Tuy nhiên, các kênh truyền trong thực tế đều là các kênh fading, vì thế các vấn đề gây ảnh hưởng đến chất lượng truyền dẫn trong hệ thống UWB phục vụ đa người dùng thực sự phức tạp [4 - 6]. Một giải pháp có thể khắc phục vấn đề này là sử dụng kết hợp kỹ thuật đảo ngược thời gian (Time Reversal - TR) với kỹ thuật đa anten phát và đa anten thu (Multi-Input Multi-Output - MIMO) trong hệ thống băng siêu rộng đa người dùng (MU – UWB). Sự kết hợp này nhằm cải thiện tốc độ truyền dẫn và giảm thiểu các yếu tố ảnh hưởng đến việc làm giảm chất lượng của hệ thống MU-UWB [7 - 9].

Phân tích dung lượng hệ thống MU-UWB là một trong những hướng nghiên cứu nổi bật trong truyền thông trên thế giới. Tuy nhiên, hiện nay chưa có tài liệu nào đưa ra phân tích dung lượng kênh truyền hệ thống MU-UWB trong cả 4 trường hợp SISO (một anten đầu vào – một anten đầu ra), SIMO (một anten đầu vào – đa anten đầu ra), MISO (đa anten đầu vào – một anten đầu ra) và MIMO (đa anten đầu vào – đa anten đầu ra). Bài báo này đưa ra mô hình toán học và thực hiện mô phỏng để đánh giá dung lượng

kênh truyền MU-UWB trong trường hợp tổng quát nhất là MIMO. Từ đó rút ra sự đánh giá và so sánh với 3 trường hợp còn lại. Kết quả này có thể định hướng cho các nhà sản xuất tham khảo nhằm tối ưu hóa trong việc chế tạo thiết bị thu phát tín hiệu UWB.

2. MÔ HÌNH HỆ THỐNG [11], [12]

Mô hình hệ thống UWB đa người dùng kết hợp kỹ thuật đảo ngược thời gian với kỹ thuật MIMO được cho ở hình 1.



Hình 1. Mô hình hệ thống MU-MIMO-UWB-TR

Đáp ứng xung kênh truyền giữa anten phát thứ j và anten nhận thứ i của người dùng thứ n được biểu diễn như sau:

$$h_{ij}^{(n)} = \sum_{l=0}^{L-1} \alpha_{ij,l}^{(n)} \delta(t - \tau_{ij,l}) \quad (1)$$

Trong đó, $\alpha_{ij,l}^{(n)}$, $\delta(t - \tau_{ij,l})$, $i = 1, 2, \dots, M_R$, $j = 1, 2, \dots, M_T$, $n = 1, \dots, N$ lần lượt là biên độ, độ trễ của tap thứ l , số anten phát và số anten thu của một người dùng. Dạng rời rạc trong miền thời gian được viết lại như sau:

$$h_{ij}^{(n)} = [h_{ij}^{(n)}[0], h_{ij}^{(n)}[1], \dots, h_{ij}^{(n)}[L-1]] \quad (2)$$

Mỗi đáp ứng xung này mang một năng lượng:

$$E \left[|h_{ij}^{(n)}[l]|^2 \right] = e^{-\frac{lT_s}{\sigma_T}} \quad , \quad 0 \leq l \leq L-1 \quad (3)$$

Như vậy, với M_T anten ở bộ phát và M_R anten ở bộ thu của người dùng thứ n sẽ có đáp ứng xung như sau:

$$H^{(n)} = \begin{bmatrix} h_{11}^{(n)} & h_{12}^{(n)} & \dots & h_{1M_T}^{(n)} \\ h_{21}^{(n)} & h_{22}^{(n)} & \dots & h_{2M_T}^{(n)} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ h_{M_R1}^{(n)} & h_{M_R2}^{(n)} & \dots & h_{M_RM_T}^{(n)} \end{bmatrix} \quad (4)$$

Giữa anten thu thứ i và phát thứ j có L tap. Vì vậy kích thước ma trận đáp ứng xung kênh truyền của người dùng thứ n sẽ là $M_R \times (M_T \times L)$.

Do đó, trong môi trường khảo sát có N người dùng thì đáp ứng xung của kênh tương ứng được biểu diễn là H :

$$H = \begin{bmatrix} H^{(1)} \\ H^{(2)} \\ \vdots \\ H^{(N)} \end{bmatrix} \quad (5)$$

Ma trận H có kích thước $(N \times M_R) \times (M_T \times L)$.

Khi trạm phát nhận được các xung thông tin CIRs từ các người dùng, khối đảo ngược thời gian (Time-Reversal Mirror - TRM) sẽ sử dụng các thông tin CIRs để tạo ra các dạng sóng để truyền thông với anten của người dùng tương ứng. Đặt G là ma trận tổng quát của TRM, nó có dạng như sau:

$$G = [G^{(1)}, G^{(2)}, \dots, G^{(N)}] \quad (6)$$

Ma trận G có kích thước $(M_T \times L) \times (M_R \times N)$.

Với mỗi $G^{(n)}$ được khai triển có dạng:

$$G^{(n)} = \begin{bmatrix} (g_{11}^{(n)})^T & (g_{12}^{(n)})^T & \dots & (g_{1M_R}^{(n)})^T \\ (g_{21}^{(n)})^T & (g_{22}^{(n)})^T & \dots & (g_{2M_R}^{(n)})^T \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ (g_{M_T1}^{(n)})^T & (g_{M_T2}^{(n)})^T & \dots & (g_{M_TM_R}^{(n)})^T \end{bmatrix} \quad (7)$$

$G^{(n)}$ nó có kích thước $(M_T \times L) \times M_R$.

Trong đó:

$$g_{ji}^{(n)} = h_{ij}^{(n)*} [L-1-l] / \sqrt{E \left[M_T \sum_{k=0}^{L-1} |h_{ij}^{(n)} [k]|^2 \right]} \quad (8)$$

$g_{ji}^{(n)}$ là đảo ngược thời gian và chuyển vị không gian của $h_{ij}^{(n)}$, $()^*$ biểu thị giá trị liên hợp phức [11], [12].

Trên thực tế, do luôn có sự tương quan giữa các anten phát, anten thu cũng như giữa các người dùng bên nhận nên đáp ứng xung kênh truyền H không thể hiện đúng tính chất của môi trường. Vì vậy, để đánh giá đúng môi trường, chúng tôi áp dụng mô hình toán học nổi tiếng mô hình Kronecker:

$$H_{Kron} = [R_{Rx}^{1/2} H R_{Tx}^{1/2}] \quad (9)$$

Trong đó: R_{Rx} và R_{Tx} lần lượt là ma trận tương quan giữa anten thu của N người dùng với ma trận tương quan phát, dạng của chúng được biểu diễn như sau:

$$R_{Rx} = \begin{pmatrix} R_{Rx}^{(1)} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & R_{Rx}^{(2)} & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & R_{Rx}^{(N)} \end{pmatrix} \quad (10)$$

$$R_{Tx} = \begin{pmatrix} 1 & \rho_{Tx} & \rho_{Tx}^2 & \dots & \rho_{Tx}^{M_T-1} \\ \rho_{Tx} & 1 & \rho_{Tx} & \dots & \rho_{Tx}^{M_T-2} \\ \rho_{Tx}^2 & \rho_{Tx} & 1 & \dots & \rho_{Tx}^{M_T-3} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \rho_{Tx}^{M_T-1} & \rho_{Tx}^{M_T-2} & \rho_{Tx}^{M_T-3} & \dots & 1 \end{pmatrix} \quad (11)$$

và

$$R_{Rx}^{(n)} = \begin{pmatrix} 1 & \rho_{Rx}^{(n)} & (\rho_{Rx}^{(n)})^2 & \dots & (\rho_{Rx}^{(n)})^{M_r-1} \\ \rho_{Rx}^{(n)} & 1 & \rho_{Rx}^{(n)} & \dots & (\rho_{Rx}^{(n)})^{M_r-2} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ (\rho_{Rx}^{(n)})^{M_r-1} & (\rho_{Rx}^{(n)})^{M_r-2} & (\rho_{Rx}^{(n)})^{M_r-3} & \dots & 1 \end{pmatrix} \quad (12)$$

$R_{Rx}^{(n)}$ là ma trận hệ số tương quan giữa M_R anten thu trong người dùng thứ n , kích thước $(M_R \times M_R)$.

ρ_{Tx} và $\rho_{Rx}^{(n)}$ theo thứ tự là hệ số tương quan phát giữa các anten đặt gần nhau phía phát và hệ số tương quan của các anten đặt gần nhau trong cùng một người nhận thứ n .

Có thể biểu diễn kênh tương quan của người dùng thứ n , L tap dưới dạng:

$$H_{Kron}^{(n)} = \begin{bmatrix} h_{11}^{(n)} & h_{12}^{(n)} & \dots & h_{1M_T}^{(n)} \\ h_{21}^{(n)} & h_{22}^{(n)} & \dots & h_{2M_T}^{(n)} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ h_{M_R1}^{(n)} & h_{M_R2}^{(n)} & \dots & h_{M_RM_T}^{(n)} \end{bmatrix} \quad (13)$$

Kích thước ma trận: $M_R \times (M_T \times L)$, với $h_{ij}^{(n)}$ là dạng rời rạc kích thước $(1 \times L)$:

$$h_{ij}^{(n)} = [h_{ij}^{(n)}[0], h_{ij}^{(n)}[1], \dots, h_{ij}^{(n)}[L-1]] \quad (14)$$

Biến đổi tương tự, ta có ma trận đáp ứng xung của toàn bộ kênh truyền khi đã xét tương quan:

$$H_{Kron} = \begin{bmatrix} H_{Kron}^{(1)} \\ H_{Kron}^{(2)} \\ \vdots \\ H_{Kron}^{(N)} \end{bmatrix} \quad (15)$$

Kích thước ma trận: $(N \times M_R) \times (M_T \times L)$

Tương tự, ma trận tổng quát từ bộ TRM G_{Kron} :

$$G_{Kron} = [G_{Kron}^{(1)}, G_{Kron}^{(2)}, \dots, G_{Kron}^{(N)}] \quad (16)$$

với

$$G_{Kron}^{(n)} = \begin{bmatrix} (g_{11}^{(n)})^T & (g_{12}^{(n)})^T & \dots & (g_{1M_R}^{(n)})^T \\ (g_{21}^{(n)})^T & (g_{22}^{(n)})^T & \dots & (g_{2M_R}^{(n)})^T \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ (g_{M_T1}^{(n)})^T & (g_{M_T2}^{(n)})^T & \dots & (g_{M_TM_R}^{(n)})^T \end{bmatrix} \quad (17)$$

và

$$g_{ji}^{(n)}[l] = h_{ij}^{(n)*}[L-1-l] / \sqrt{E \left[M_T \sum_{k=0}^{L-1} |h_{ij}^{(n)}[k]|^2 \right]} \quad (18)$$

Giả sử rằng tín hiệu đầu vào có dạng $X = [X^{(1)}, X^{(2)}, \dots, X^{(N)}]$, các giá trị này là các biến ngẫu nhiên độc lập, trung bình bằng không, và phương sai bằng giá trị θ , thì tín hiệu đầu ra của hệ thống được cho bởi công thức:

$$Y = (G_{Kron} * X) * H_{Kron} + n \quad (19)$$

Theo tính chất của tích chập, có thể viết lại như sau: $Y = (G_{Kron} * H_{Kron}) * X + n$, với $n = [n^{(1)}, n^{(2)}, \dots, n^{(N)}]$ là nhiễu Gauss trắng có trung bình bằng không, phương sai σ^2 . Vì vậy, tín hiệu nhận được tại người dùng thứ n ($1 \leq n \leq N$) và L tap có thể viết lại như sau:

$$Y^{(n)}[k] = a_n \sum_{m=1}^N \sum_{i=1}^{M_R} \sum_{j=1}^{M_T} \sum_{l=0}^{2L-2} \left(h_{ij}^{(n)} * g_{ji}^{(m)} \right) [l] X^{(m)}[k-l] + n[k] \quad (20)$$

Tín hiệu nhận $Y^{(n)}[k]$ có thể biểu diễn là tổng của các thành phần khác nhau: thành phần tín hiệu mong muốn (Signal), nhiễu liên ký tự (ISI), nhiễu liên người dùng (IUI) và nhiễu liên anten (IAI) và tạp nhiễu từ môi trường bên ngoài:

$$\begin{aligned} Y^{(n)}[k] &= a_n \sum_{i=1}^{M_R} \sum_{j=1}^{M_T} \left(h_{ij}^{(n)} * g_{ji}^{(n)} \right) [L-1] X^{(n)}[k-L+1] && \text{(Signal)} \\ &+ a_n \sum_{\substack{l=0 \\ l \neq L-1}}^{2L-2} \sum_{i=1}^{M_R} \sum_{j=1}^{M_T} \left(h_{ij}^{(n)} * g_{ji}^{(n)} \right) [l] X^{(n)}[k-l] && \text{(ISI)} \\ &+ a_n \sum_{l=0}^{2L-2} \sum_{i=1}^{M_R} \sum_{j=1}^{M_T} \sum_{\substack{i'=1 \\ i' \neq i}}^{M_R} \sum_{\substack{j'=1 \\ j' \neq j}}^{M_T} \left(h_{ij}^{(n)} * g_{j'i'}^{(n)} \right) [l] X^{(n)}[k-l] && \text{(IAI)} \quad (21) \\ &+ a_n \sum_{\substack{m=1 \\ m \neq n}}^N \sum_{l=0}^{2L-2} \sum_{i=1}^{M_R} \sum_{j=1}^{M_T} \sum_{i'=1}^{M_R} \sum_{j'=1}^{M_T} \left(h_{ij}^{(n)} * g_{j'i'}^{(m)} \right) [l] X^{(m)}[k-l] && \text{(IUI)} \\ &+ a_n \tilde{n}^{(n)}[k] && \text{(noise)} \end{aligned}$$

3. PHÂN TÍCH DUNG LƯỢNG KÊNH CỦA HỆ THỐNG MU-MIMO-UWB-TR

Dựa trên các thành phần tín hiệu đã phân tích được ở trên, chúng tôi tính công suất tương ứng của từng thành phần: công suất thành phần tín hiệu mong muốn tại một người dùng P_{Sig} (Signal - Sig), công suất nhiễu liên ký tự trong cùng một người dùng P_{ISI} (Inter-Symbol Interference - ISI), công suất nhiễu liên anten P_{IAI} (Inter-Antenna Interference - IAI), công suất nhiễu liên người dùng P_{IUI} (Inter-User Interference - IUI) và công suất nhiễu của môi trường bên ngoài σ^2 (Noise). Sau khi tính được công suất của các thành phần này, chúng tôi tiếp tục tính dung lượng kênh truyền để đánh giá mô

hình hệ thống mà chúng tôi đã xây dựng được ở trên. Công thức tính dung lượng kênh truyền như sau:

$$C = B \log_2(1 + \text{SINR}) \quad (22)$$

Để đơn giản trong việc đánh giá tỉ số tín hiệu trên nhiễu và liên nhiễu, chúng tôi chuẩn hóa băng thông kênh truyền $B=1$ Hz, do đó dung lượng kênh truyền tính được trên công thức (22) cũng chính là hiệu quả băng thông của hệ thống.

SINR (signal-to-interference plus noise ratio) được sử dụng để đánh giá chất lượng của tín hiệu tại mỗi người dùng và được tính toán tại người dùng thứ n trong hệ thống đa người dùng như sau: [11], [12]

$$\text{SINR}^{(n)} = \frac{P_{\text{Sig}}^{(n)}}{P_{\text{ISI}}^{(n)} + P_{\text{IAI}}^{(n)} + P_{\text{IUI}}^{(n)} + \sigma^2} \quad (23)$$

Công suất tín hiệu thu tại người dùng thứ n là công suất tín hiệu mong muốn nhận được tại tap $L-1$. Tại giá trị này tín hiệu thu được là cực đại, và giá trị a_n không ảnh hưởng đến kết quả tính SINR. Để đơn giản, chúng tôi giả sử $a_n = 1$ trong toàn bộ quá trình tính toán. Công suất tín hiệu được tính theo công thức:

$$P_{\text{Sig}}^{(n)} = \theta \left| \sum_{i=1}^{M_R} \sum_{j=1}^{M_T} (h_{ij}^{(n)} * g_{ji}^{(n)}) [L-1] \right|^2 \quad (24)$$

Công suất của các thành phần tín hiệu nhiễu không mong muốn được tính như sau:

$$P_{\text{ISI}}^{(n)} = \theta \sum_{\substack{l=0 \\ l \neq L-1}}^{2L-2} \left| \sum_{i=1}^{M_R} \sum_{j=1}^{M_T} (h_{ij}^{(n)} * g_{ji}^{(n)}) [l] \right|^2 \quad (25)$$

$$P_{\text{IAI}}^{(n)} = \theta \sum_{l=0}^{2L-2} \left| \sum_{i=1}^{M_R} \sum_{j=1}^{M_T} \sum_{i'=1}^{M_R} \sum_{j'=1}^{M_T} (h_{ij}^{(n)} * g_{j'i'}^{(n)}) [l] \right|^2 \quad (26)$$

$$P_{\text{IUI}}^{(n)} = \theta \sum_{\substack{m=1 \\ m \neq n}}^N \sum_{l=0}^{2L-2} \left| \sum_{i=1}^{M_R} \sum_{j=1}^{M_T} \sum_{i'=1}^{M_R} \sum_{j'=1}^{M_T} (h_{ij}^{(n)} * g_{j'i'}^{(m)}) [l] \right|^2 \quad (27)$$

4. CÁC KẾT QUẢ MÔ PHỎNG VÀ THẢO LUẬN

Trong mô phỏng này, công suất phát trung bình tổng cộng của các anten phát là P . Do đó công suất trung bình θ là tỉ số giữa công suất phát trung bình tổng cộng trên số người dùng N

$$\theta = \frac{P}{N} \quad (28)$$

Định nghĩa tỉ số tín hiệu trên nhiễu SNR tác động đến nhiễu Gauss trắng trung bình bằng không và phương sai σ^2 , liên hệ theo công thức sau:

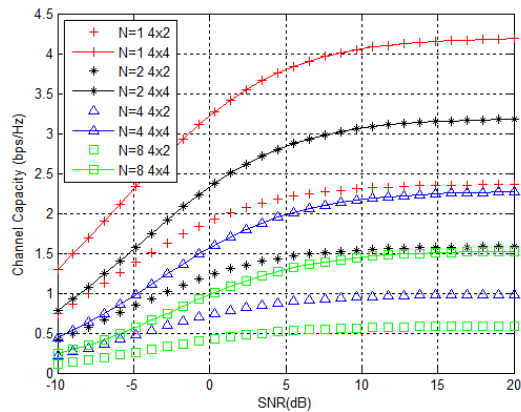
$$SNR = \frac{P}{\sigma^2} E \left[\sum_{l=1}^L |h_{ij}^{(n)}|^2 \right] \quad (29)$$

Thông số mô phỏng được chọn như ở bảng 1:

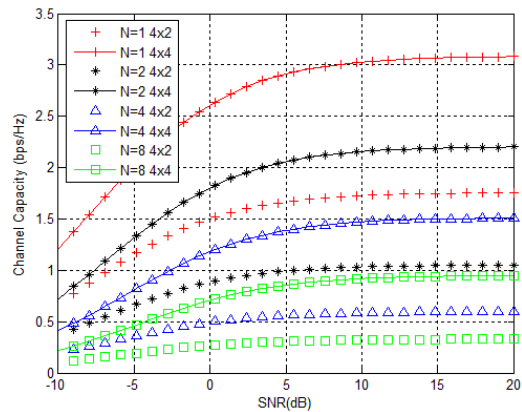
Bảng 1. Các thông số mô phỏng

Tham số mô phỏng	Giá trị
Môi trường (văn phòng bị che chắn)	CM4
Độ dài đáp ứng xung môi trường	$L = 257$
Tần số lấy mẫu hệ thống	$F_s = 3.10^9$
Thời gian lấy mẫu hệ thống	$T_s = 1/F_s$
Độ trải trễ của kênh	$\sigma_T = 128T_s$
Số lượng người dùng	$N = [1, 2, 4, 8]$
Số anten phát	$M_T = [2, 4, 7]$
Số anten thu	$M_R = [2, 4, 7]$

Kết quả mô phỏng nhận được khi thay đổi 3 thông số N , M_T , M_R trong trường hợp không tương quan và có tương quan được thể hiện ở hình 2 và hình 3. Chúng tôi tiến hành khảo sát số người dùng $N = [1, 2, 4, 8]$, tương ứng với mỗi N , chúng tôi xét số anten thay đổi (4 x 2) và (4 x 4).



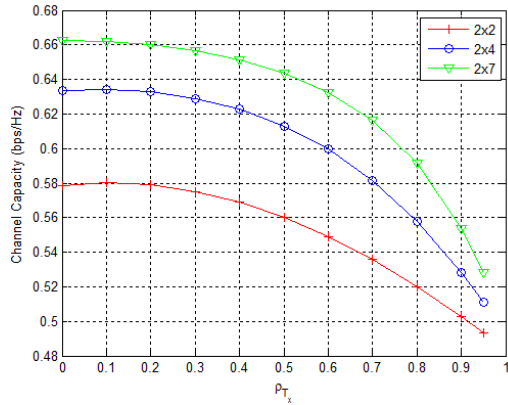
Hình 2. Kênh MU-MIMO-UWB-TR không tương quan



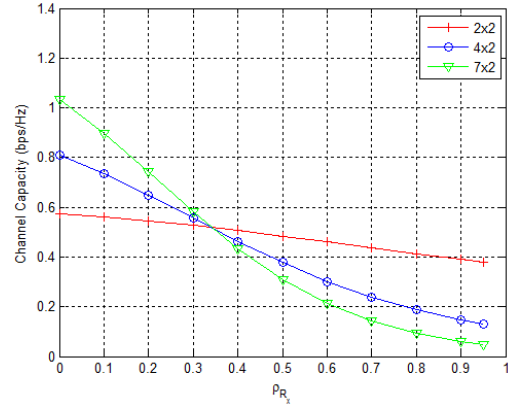
Hình 3. Kênh MU-MIMO-UWB-TR có tương quan ($\rho_{Tx} = 0.3$ và $\rho_{Rx} = 0.2$)

Kết quả mô phỏng cho thấy: với cùng một tập giá trị của SNR, số người dùng, số anten phát và thu thì dung lượng kênh trong hệ thống MIMO có tương quan bị giảm nhiều so với hệ thống MIMO không có tương quan. Chẳng hạn: tại SNR = 20dB, $M_T=2$, $M_R=4$, hệ số tương quan phát = 0.3, hệ số tương quan thu = 0.2 thì dung lượng kênh chỉ khoảng 3.1bps/Hz; trong khi đó với hệ thống kênh MIMO không tương quan cùng tập thông số thì dung lượng kênh đạt đến 4.2 bps/Hz. Với cùng số lượng người dùng N , dung lượng kênh tăng khi tăng số lượng anten phát và anten thu. Chẳng hạn, khi $N = 2$ hệ thống anten (4 x 4) có dung lượng là 2.2 bps/Hz, hệ thống anten (4 x 2) dung lượng chỉ khoảng 1bps/Hz.

Kết quả mô phỏng ảnh hưởng của sự tương quan lên hệ thống trong 2 trường hợp: số anten thu cố định, anten phát thay đổi ($M_R = 2, M_T = [2, 4, 7]$) và số anten phát cố định, anten thu thay đổi ($M_T = 2, M_R = [2, 4, 7]$) khi $N = 2$ được thể hiện tương ứng ở hình 4 và hình 5.



Hình 4. Ảnh hưởng tương quan phát lên dung lượng hệ thống MU-MIMO-UWB-TR ($N=2$)

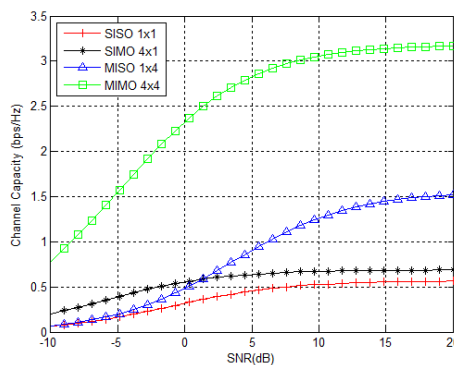


Hình 5. Ảnh hưởng tương quan thu lên dung lượng hệ thống MU-MIMO-UWB-TR ($N=2$)

Kết quả mô phỏng ở (hình 4) cho thấy: khi tăng số lượng anten phát thì dung lượng hệ thống tăng.

Kết quả hình 5 cho thấy: tương quan thu ảnh hưởng lớn đến dung lượng hệ thống hơn so với tương quan phát. Với tương quan thu nhỏ hơn 0.3, dung lượng hệ thống tỉ lệ thuận với việc tăng anten thu, nhưng khi tương quan thu lớn hơn 0.3, dung lượng hệ thống giảm rất mạnh. Hệ thống sử dụng nhiều anten thu có dung lượng thấp hơn hệ thống ít anten thu do ảnh hưởng của tương quan. Trường hợp này không xảy ra trong hệ thống đã xét trên hình 4.

Kết quả mô phỏng của 4 hệ thống MU-SISO-UWB-TR, MU-MISO-UWB-TR, MU-SIMO-UWB-TR và MU-MIMO-UWB-TR trong trường hợp không tương quan được thể hiện ở hình 6.

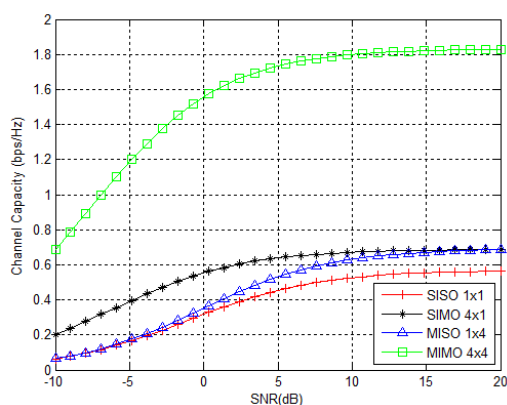


Hình 6. Dung lượng của 4 hệ thống khi không có tương quan ($N=2$).

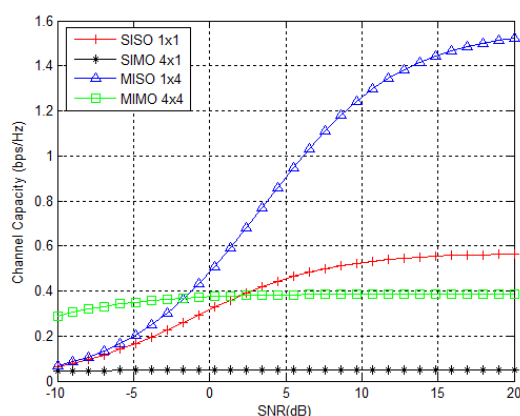
Mô phỏng cho thấy: kết quả khi không có sự tương quan phát và thu, việc tăng số anten ở trạm phát có lợi hơn tăng anten ở trạm thu. Tại $SNR = 20\text{dB}$, với hệ thống

MISO (4 anten phát, 1 anten thu) thì dung lượng bằng 1.5bps; trong khi đó, hệ thống SIMO (1 anten phát, 4 anten thu), dung lượng chỉ đạt khoảng 0.65 bps. Nếu tăng đồng thời cả anten phát và anten thu, hệ thống MIMO (4 anten phát, 4 anten thu) dung lượng tăng lên rất nhiều (khoảng 3.2bps).

Kết quả mô phỏng dung lượng của 4 hệ thống MU-SISO-UWB-TR, MU-MISO-UWB-TR, MU-SIMO-UWB-TR và MU-MIMO-UWB-TR trong trường hợp có tương quan ứng với kênh có tương quan thu bằng 0, tương quan phát lớn nhất 0.95 và kênh có tương quan thu lớn nhất bằng 0.95, tương quan phát bằng 0 được thể hiện tương ứng ở hình 7 và hình 8.



Hình 7. Dung lượng hệ thống với tương quan phát lớn nhất



Hình 8. Dung lượng hệ thống với tương quan thu lớn nhất

Kết quả mô phỏng cho thấy:

- Với tương quan phát lớn nhất, dung lượng của 4 hệ thống đều giảm, giảm mạnh nhất là hệ thống MU-MISO-UWB-TR. Dung lượng hệ thống MU-MISO-UWB-TR giảm xuống thấp hơn cả dung lượng hệ thống MU-SIMO-UWB-TR.
- Với tương quan thu lớn nhất, dung lượng của hệ thống MU-MIMO-UWB-TR giảm rất mạnh, từ 1.8 bps (chỉ có tương quan phát) xuống 0.4 bps, thấp hơn cả hệ thống MU-SISO-UWB-TR.

Từ kết quả mô phỏng trên, chúng tôi đưa ra một số nhận xét sau đây:

- Cùng chỉ số người sử dụng N thì dung lượng kênh của hệ thống MU-MIMO-UWB-TR lớn hơn dung lượng kênh MU-MISO-UWB-TR, và dung lượng kênh MU-MISO-UWB-TR cao hơn dung lượng kênh của MU-SISO-UWB-TR. Điều này chỉ ra rằng, dung lượng kênh tăng theo số lượng anten phát và anten thu.
- Tương quan thu ảnh hưởng nhiều hơn tương quan phát.
- Trong môi trường có sự tương quan thu cao, việc tăng anten thu không được lợi gì về mặt dung lượng mà thậm chí còn bị giảm đáng kể.
- Hệ thống MU-SISO-UWB-TR không bị ảnh hưởng bởi sự tương quan thu và phát.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. M.Di Benedetto, T.Kaiser, D.Porcino, A.Molisch, and I.Opperman (2006). *UWB Communication Systems A Comprehensive Overview*. Hindawi Publising.
- [2]. M.Win and R.Scholtz (1998). Impulse radio: How it works. *IEEE Commun.Lett.*, vol. 2, no. 2, pp. 36–38.
- [3]. R.Fontana (2004). Recent system applications of short-pulse ultra-wideband (UWB) technology. *IEEE Trans. Microw. Theory Tech.*, vol. 52, no. 9, pp. 2087–2104.
- [4]. R.M.Cramer, R.Scholtz, and M.Win (2002). Evaluation of an ultra-wideband propagation channel. *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 50, no. 5, pp. 561–570.
- [5]. D.Cassioi, M.Win, and A.Molisch (2002). The ultra-wide bandwidth indoor channel: From statistical model to simulations. *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 20, no. 6, pp. 1247–1257.
- [6]. F.Zheng and T.Kaiser (2004). On the evaluation of channel capacity of multi antenna UWB indoor wireless systems. In *Proc. IEEE 8th Int. Symp. Spread Spectr. Tech. Appl.*, pp. 525–529.
- [7]. Chenming Zhou, et al (2009). Time-Reversed Ultra-wideband (UWB) Multiple Input Multiple Output (MIMO) Based on Measured Spatial Channels. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 58, no. 6, pp. 2884 – 2898.
- [8]. Robert C.Qiu (2006). A Theory of Time-Reversed Impulse Multiple-Input Multiple-Output (MIMO) for Ultra-Wideband (UWB) Communications. *IEEE 2006 International Conference on Ultra-Wideband*, pp. 587 – 592, 24-27.
- [9]. Hung Tuan Nguyen, et al (2006). A Time Reversal Transmission Approach for Multi user UWB Communications. *IEEE Transactions On Antennas And Propagation*, vol. 54, no. 11, pp. 3216-3225.
- [10]. Sergey Loyka and George Tsoulos (2002). Estimating MIMO System Performance Using the Correlation Matrix Approach. *IEEE Communications Letters*, vol. 6, no. 1, pp. 19-21.
- [11]. Feng Han, Yu-Han Yang, Beibei Wang, Yongle Wu, Liu, K.J.R (2012). Time-Reversal Division Multiple Access over Multi-Path Channels. *IEEE, Transactions on Communications*.
- [12]. Tran Ha Vu, Nguyen Thanh Hieu, Ho Duc Tam Linh, Nguyen Thuy Dung and Le van Tuan (2013). Channel Capacity of Multi User TR-MIMO-UWB Communications System. *Computing, Management and Telecommunications*.

STUDYING TIME REVERSAL TECHNIQUE AND ANALYSING THE CAPACITY OF MIMO-UWB SYSTEM

Ho Duc Tam Linh^{*}, Nguyen Van Phu, Dang Xuan Vinh

Department of Electronics – Telecommunications, Hue University of Sciences

** Email: hodutali@gmail.com*

ABSTRACT

Channel capacity of Ultra-Wide Band system (UWB) has increased significantly when combining both Time Reversal technique (TR) and multiple antennas (Multi-Input Multi-Output-MIMO). In fact, multiple antennas at the transmitter and receiver always exist correlation to each other; therefore, channel capacity is reduced. In this paper, the channel capacity of the system MU - MIMO - TR - UWB will be analyzed and evaluated in both cases of having impact of the correlation coefficient or not. In addition, changing the number of input and output antennas also causes a major impact on the capacity of UWB system. In particular, the paper pointed out that there is a bigger impact of the receiver correlation than the transmitter correlation. We also analyzed and evaluated the strengths and weaknesses of MIMO systems as the number of users go up.

Keywords: *UWB, TR, MIMO, MIMO-UWB, TR-UWB, MU-MIMO-UWB-TR*