

# KỸ THUẬT MIMO TRONG CÁC HỆ THỐNG THÔNG TIN VÔ TUYẾN – NỀN TẢNG ÁP DỤNG CÔNG NGHỆ E-LEARNING

**Đặng Trường Sơn**  
**Phan Hồng Phương**

## TÓM TẮT

Ngày nay thông tin vô tuyến đang được nghiên cứu và phát triển rất mạnh mẽ và trở thành nền tảng của công nghệ e-learning nâng cao chất lượng đào tạo và mở rộng tri thức đến mọi đối tượng. Bài báo này trình bày một giải pháp hiệu quả giải quyết các vấn đề về dung lượng hệ thống thông tin vô tuyến, tốc độ hệ thống, sử dụng kỹ thuật MIMO (multiple-input multiple-output) – nền tảng của công nghệ không dây hiện đại trong hệ thống WLAN (chuẩn IEEE 802.11n – còn đang trong giai đoạn nghiên cứu và thử nghiệm) và WiMAX (IEEE 802.16), tập trung nghiên cứu quy trình mô hình hóa kênh MIMO. Các tác giả đã xây dựng và giới thiệu chương trình mô phỏng trong môi trường Matlab để tính toán ma trận tương quan của kênh truyền thông qua việc khảo sát phân bố công suất (Power Azimuth Spectrum) trong các trường hợp chỉ có một hoặc nhiều đường tín hiệu đến bộ thu trong môi trường truyền sóng.

**Từ khóa:** Thông tin vô tuyến, công nghệ thông tin và truyền thông, kỹ thuật MIMO, công nghệ e-learning

## ABSTRACT

Nowadays wireless communications has been studied and developed very fast in all over the world and is the basics of e-learning technologies for improving the quality of education and extending its reach to broader audiences. This paper introduces an effective approach for increasing capacity and speed of a wireless communication system – application of MIMO techniques (multiple-input multiple-output) used in Wireless LAN (IEEE 802.11n) and WiMAX (IEEE 802.16) focusing on the procedure of modelling a MIMO channel. A Matlab program developed by the authors is presented to calculate correlation matrix of the channel according to three types of Power Azimuth Spectrum in one-cluster and multiple-cluster propagation cases.

**Keywords:** Wireless communications, Information and Communication Technologies, MIMO techniques, e-learning technologies

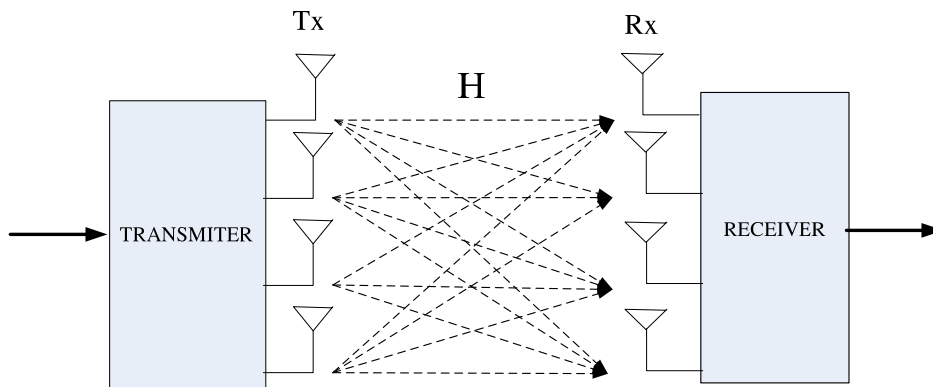
## I. MỞ ĐẦU

Trong thời đại bùng nổ thông tin hiện nay, e-learning là công cụ đắc lực mở rộng tri thức đến mọi đối tượng và là phương pháp hỗ trợ đào tạo hiệu quả. Trên thế giới, hơn 1 tỉ người thường xuyên truy cập, sử dụng và khai thác thông tin trên Internet. Nói đến e-learning, ta không thể không nói đến công nghệ thông tin và truyền thông (Information and Communication Technologies) – môi trường nền tảng để thực hiện e-learning. Trong các hệ thống truyền thông, dây cáp đồng là môi trường truyền dẫn đơn giản và rẻ tiền. Dịch vụ DSL (digital subscriber line) hiện đang được khai thác rộng rãi ở Việt Nam cũng như trên thế giới. Tuy nhiên công nghệ DSL thường chỉ cho phép truyền xa khoảng 5 km tính từ trạm gốc, khó đến được những vùng dân cư có địa hình không thuận lợi như đồi núi, sông nước. Cải tiến những mạng này để nó hỗ trợ cho các hệ thống băng rộng tốc độ cao hoặc xây dựng thêm nhiều trạm mới là giải pháp không đem lại hiệu quả cao. Trong trường hợp này, công nghệ thông tin vô tuyến có thể chứng tỏ được tính ưu việt của nó. Hơn nữa việc sử dụng công nghệ truyền thông vô tuyến sẽ cho phép người học có thể tiếp cận trực tiếp với tài nguyên học tập mọi lúc mọi nơi. Cùng với sự phát triển của các giải thuật và công cụ xử lý tín hiệu tiên tiến, thông tin vô tuyến ngày càng được khai thác và triển khai rộng rãi hơn với nhiều ứng dụng như thông tin di động, mạng wireless LAN, WiMAX,... Khi khảo sát hay thiết kế một hệ thống thông tin vô tuyến, chúng ta cần quan tâm đến một số vấn đề như tăng dung lượng hệ thống, giảm suy hao tín hiệu, hiện tượng fading, đa đường, can nhiễu.

Trong bài báo này các tác giả sẽ trình bày một giải pháp hiệu quả giải quyết các vấn đề về dung lượng hệ thống thông tin vô tuyến, tốc độ hệ thống, sử dụng kỹ thuật MIMO - nền tảng của công nghệ không dây hiện đại trong hệ thống WLAN (chuẩn IEEE 802.11n – còn đang trong giai đoạn nghiên cứu và thử nghiệm) và WiMAX (IEEE 802.16) và sẽ đề cập đến một số vấn đề của kỹ thuật này. Bài báo được sắp xếp theo cấu trúc như sau: Phần II đề cập và giới thiệu một số ưu điểm của hệ thống MIMO (Multiple Input - Multiple Output); phần III trình bày quá trình mô hình hóa kênh truyền MIMO, tại đây sẽ tập trung nghiên cứu xây dựng ma trận tương quan của kênh truyền thông qua việc khảo sát phân bố PAS; phần IV đánh giá và thảo luận một số kết quả mô phỏng; cuối cùng các kết luận sẽ được đưa ra ở phần V.

## II. KỸ THUẬT MIMO

Hệ thống MIMO là hệ thống sử dụng đa anten đặt cả phía phát và phía thu (hình 1). MIMO hiện đang ngày thu hút sự quan tâm của các nhà khoa học và được nhắc đến trong các tạp chí chuyên ngành viễn thông và công nghệ thông tin trên thế giới [1][2].



**Hình 1.** Sơ đồ hệ thống MIMO

Ưu điểm của MIMO so với các hệ thống truyền thống khác là gia tăng tốc độ truyền dữ liệu và mở rộng tầm phủ sóng trên cùng một băng thông, đồng thời giảm chi phí truyền tải. Đối với các hệ thống khác việc truyền đa đường (multipath) làm giảm chất lượng tín hiệu nơi thu thì đối với hệ thống MIMO, multipath là yếu tố cơ bản để áp dụng các kỹ thuật phân tập không gian-thời gian nhằm tăng dung lượng và độ tin cậy của hệ thống.

Trong công nghệ MIMO, đầu phát sóng sử dụng nhiều anten để truyền sóng theo nhiều đường khác nhau nhằm tăng lưu lượng thông tin. MIMO tận dụng sự dội lại của sóng khi “đụng” phải những chướng ngại trên đường truyền khiến chúng có thể đến được đầu nhận tín hiệu bằng nhiều con đường khác nhau. Công nghệ MIMO cho phép đầu nhận phân loại tín hiệu và chỉ nhận tín hiệu mạnh nhất từ một anten tại một vị trí nào đó. Điều này cũng tương tự như đôi tai của chúng ta tiếp nhận đủ thứ âm thanh từ thế giới bên ngoài, nhưng sau đó não bộ sẽ chọn lọc và phân loại những âm thanh đó. Dữ liệu thu tại các anten sau đó sẽ được tập hợp lại theo những định dạng đã được ấn định.

MIMO cũng có thể ghép kênh theo không gian để phân biệt những tín hiệu khác nhau trên cùng một tần số. Thêm vào đó, người ta cũng sử dụng kỹ thuật mã hóa khối dữ liệu theo thời gian và không gian (space-time block coding) để tăng cường độ tin cậy.

## III. HÀM TƯƠNG QUAN VÀ PHÂN BỐ CÔNG SUẤT PAS

Khi tìm hiểu, đánh giá kênh truyền MIMO, ta xem xét các thông số kênh truyền sau: ma trận kênh truyền  $H$  (steering channel matrix), hệ số tương quan không gian (spatial correlation coefficients), hàm trễ công suất PDP (Power Delay Profiles), đặc tính fading, phổ công suất Doppler (Doppler power spectrum). Hay ngược lại, muốn mô hình hóa được kênh truyền MIMO thì từ các dữ liệu nhận được tại bên phát và bên thu, kết hợp với các thông số vật lý của hệ thống ta

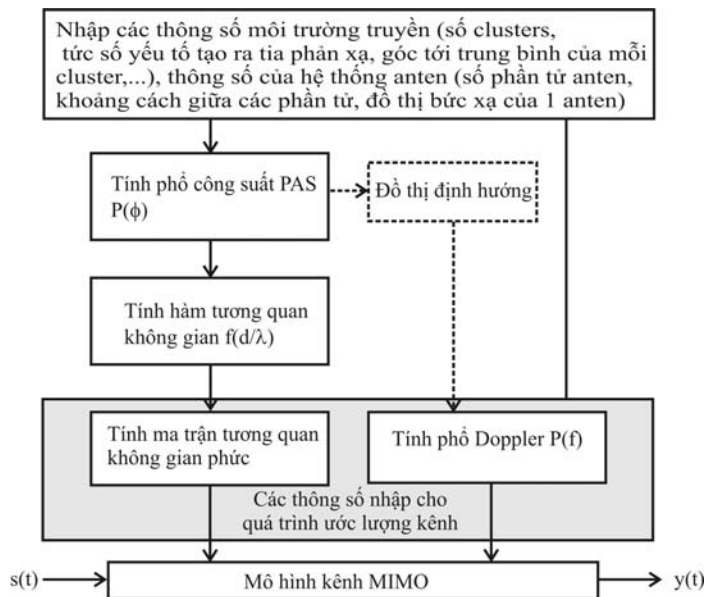
phải tính toán, xây dựng được phổ công suất phương vị PAS (Power Azimuth Spectrum), từ đó bằng biến đổi Fourier của PAS, ta thu được hàm tương quan không gian của kênh truyền. Mặt khác, từ PAS kết hợp với kiểu bức xạ của dàn anten ta sẽ xác định được phổ Doppler của tín hiệu. Quá trình mô hình hóa kênh truyền MIMO được minh họa trên hình 2.

Hàm tương quan giữa các sóng tới tại hai anten chủ yếu phụ thuộc vào phổ công suất phương vị PAS, khoảng cách giữa các anten và kiểu bức xạ của anten. Ở đây để đơn giản ta chỉ xem xét, đánh giá đối với dàn anten tuyến tính đồng nhất với các anten đẳng hướng và sẽ mô hình hóa PAS trong môi trường outdoor theo 3 loại phân bố: phân bố uniform, phân bố truncated Gaussian và phân bố truncated Lapalcian mà trong [3] đưa ra như là mô hình phù hợp nhất cho các kết quả đo đạc tại urban area và rural area.

Ta định nghĩa ma trận tương quan đối xứng dạng phức tại BS và MS như sau:

$$\mathbf{R}_{BS} = \begin{bmatrix} \rho_{11}^{BS} & \rho_{12}^{BS} & L & \rho_{1M}^{BS} \\ \rho_{21}^{BS} & \rho_{22}^{BS} & L & \rho_{2M}^{BS} \\ M & M & O & M \\ \rho_{M1}^{BS} & \rho_{M2}^{BS} & L & \rho_{MM}^{BS} \end{bmatrix}_{M \times M} \quad (1)$$

$$\mathbf{R}_{MS} = \begin{bmatrix} \rho_{11}^{MS} & \rho_{12}^{MS} & L & \rho_{1N}^{MS} \\ \rho_{21}^{MS} & \rho_{22}^{MS} & L & \rho_{2N}^{MS} \\ M & M & O & M \\ \rho_{N1}^{MS} & \rho_{N2}^{MS} & L & \rho_{NN}^{MS} \end{bmatrix}_{N \times N} \quad (2)$$



Hình 2. Quá trình mô hình hoá một kênh truyền MIMO

Ma trận tương quan không gian của kênh truyền MIMO là tích Kronecker của ma trận tương quan không gian của MS và BS [3]:

$$\mathbf{R}_{MIMO} = \mathbf{R}_{MS} \otimes \mathbf{R}_{BS} \quad (3)$$

với  $\otimes$  biểu thị tích Kronecker.

Hệ số tương quan phức tại dàn anten tuyến tính được mô tả dưới dạng trường phức (field)  $\rho_e(D)$  hay dạng đường bao (envelope)  $\rho_f(D)$ :

$$\rho_e(D) = \left| \rho_f(D) \right|^2 = \left| R_{XX(D)} + jR_{XY}(D) \right|^2 \quad (4)$$

trong đó,  $R_{XX}$  và  $R_{XY}$  tương ứng là các hàm tương quan giữa các phần thực (tương tự như giữa các phần ảo) và giữa phần thực và phần ảo của các tín hiệu phức thu được, cụ thể:

$$R_{XX}(D) = \int_{-\pi}^{\pi} \cos(D \sin \phi) PAS(\phi) d\phi \quad (5)$$

$$R_{XY}(D) = \int_{-\pi}^{\pi} \sin(D \sin \phi) PAS(\phi) d\phi$$

Khi biết phân bố PAS và độ lệch chuẩn  $\sigma$  của PAS thì ta sẽ tìm được hệ số tương quan và áp dụng các công thức (1), (2) và (3) để đưa ra ma trận tương quan kênh truyền MIMO.

#### IV. KẾT QUẢ VÀ NHẬN XÉT

Chương trình mô phỏng được các tác giả thực hiện bằng ngôn ngữ Matlab, cho phép tính toán phân bố công suất trong các trường hợp chỉ có 1 hoặc nhiều đường tín hiệu đến bộ thu (one- và multiple-cluster). Phần này sẽ trình bày một số kết quả mô phỏng và đưa ra một số nhận xét.

##### A. Phân bố công suất PAS

Để tổng quan hơn khi mô phỏng trong trường hợp UMTS (3G) Mobile Telephone, ta thay thế khái niệm BS\_Base Station và MS\_Mobile Station, thường dùng trong trường hợp GSM (2G) bằng Node\_B và UE\_User Equipment. Với các kết quả mô phỏng thu được, chúng ta sẽ có những nhận xét, so sánh các kiểu phân bố công suất thông thường như Uniform, Gaussian hay Laplacian cũng như xem xét, đánh giá các yếu tố ảnh hưởng đến hệ số tương quan giữa các tín hiệu trong kênh truyền multi-cluster.

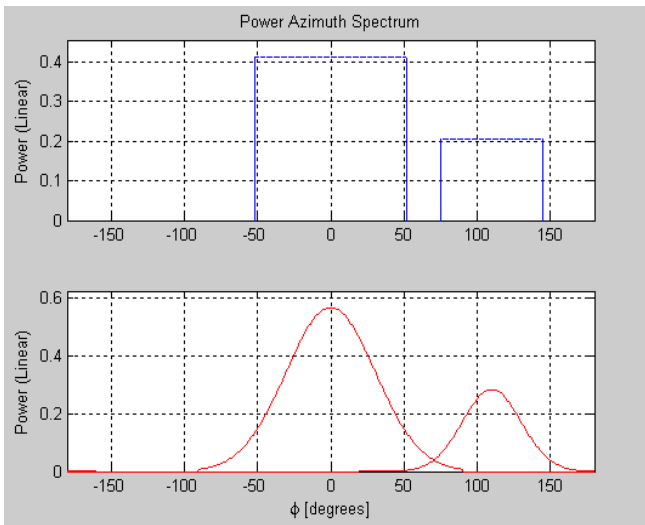
Các thông số cần nhập cho kênh MIMO là: số các element trong dàn (Number of Elements), khoảng cách giữa các element (Normalised Spacing), số cluster tới (Number of clusters) và kiểu phân bố công suất phương vị PAS (PAS\_Type). Trong bài này các thông số được nhập vào trong bảng sau:

	Node_B	UE_User_Equipment
Number of Elements	2	4
Normalised Spacing	0,5	0,5
Number of clusters	1	2
PAS_Type	Uniform	Gaussian

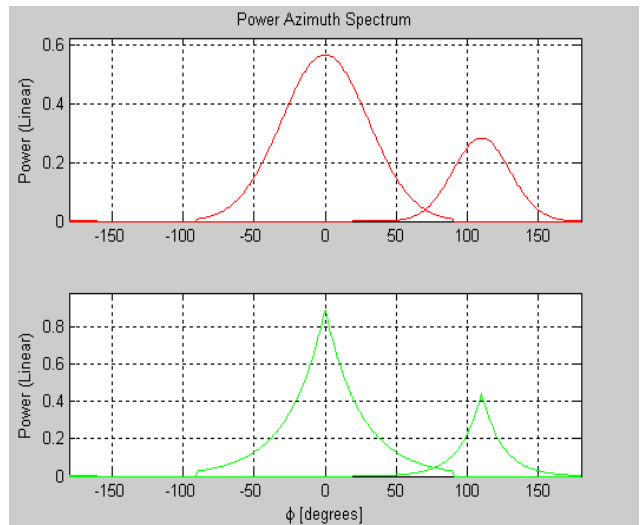
Các cluster mang các thông số cần thiết cho Node\_B và UE xử lý nhằm tính toán hệ số tương quan, phục vụ cho quá trình ước lượng dung lượng kênh MIMO. Ta nhập các thông số cho từng cluster tới với giả thiết rằng các thông số này được cung cấp sau quá trình đo đạc, phân tích và ước lượng tín hiệu tại các dàn anten thu, trong đó Amplitude\_cluster là biên độ của các cluster, AoA\_deg là góc tới trung bình của cluster, AS\_deg là giới hạn trải phổ công suất theo góc phương

vị tính từ hướng AoA và delta\_phi\_deg – giới hạn vùng PAS trong khoảng [AoA-delta\_phi\_deg, AoA+delta\_phi\_deg]).

Trong trường hợp one-cluster, mô phỏng cho thấy mức độ tập trung năng lượng tăng dần theo thứ tự Uniform PAS, Gaussian PAS, Laplacian PAS. Độ rộng phổ là tỷ lệ thuận với giá trị AS\_deg và có thể bị giới hạn theo lý thuyết. Kết quả mô phỏng vài ví dụ trong trường hợp multi-cluster được trình bày trên hình 3a (trường hợp 2 clusters đến Node\_B có dạng Uniform PAS, 2 clusters đến UE có dạng Gaussian PAS) và 3b (trường hợp 2 clusters đến Node\_B có dạng Gaussian PAS, 2 clusters đến UE có dạng Laplacian PAS). Xét trường hợp tại thời điểm hệ thống MIMO có 2 cluster đến Node\_B và 2 cluster đến UE. Chú ý rằng biên độ các cluster tới bên thu sẽ giảm dần theo thời gian. Ở đây giả sử biên độ cluster sau sẽ giảm đi phân nửa so với biên độ cluster trước nó. Thông số nhập cho các cluster trong 2 trường hợp này là hoàn toàn giống nhau.



**Hình 3a.** 2 clusters đến Node\_B có dạng Uniform PAS, 2 clusters đến UE có dạng Gaussian PAS



**Hình 3b.** 2 clusters đến Node\_B có dạng Gaussian PAS, 2 clusters đến UE có dạng Laplacian PAS

## B. Hệ số tương quan

Các phân tích cho thấy rằng, nếu bỏ qua đặc điểm bức xạ của anten thì hệ số tương quan giữa hai anten trong dàn được xem là hàm của khoảng cách giữa hai anten này và chủ yếu phụ thuộc dạng PAS của tín hiệu. Ngoài ra, góc tới AoA cũng gây ảnh hưởng tác hệ số tương quan. Sau đây ta sẽ xem xét sự phụ thuộc của hệ số tương quan vào các yếu tố này.

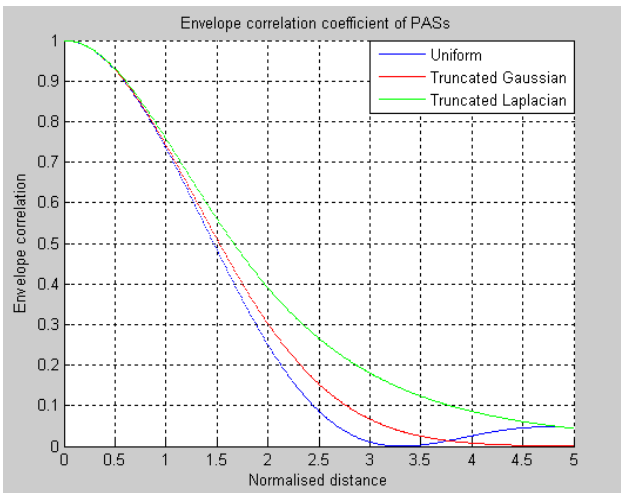
### a) Ảnh hưởng của khoảng cách và độ rộng phổ tới hệ số tương quan

Ở hệ thống SISO (Single Input - Single Output), chỉ có một anten phát và một anten thu do đó không có sự tương quan tín hiệu nào xảy ra cả. Khi đó hệ ma trận tương quan được qui ước là ma trận chỉ có một phần tử bằng 1. Ở đây, ta khảo sát hệ thống MIMO, do vậy ít nhất tại bên thu và bên phát phải có tối thiểu 2 anten.

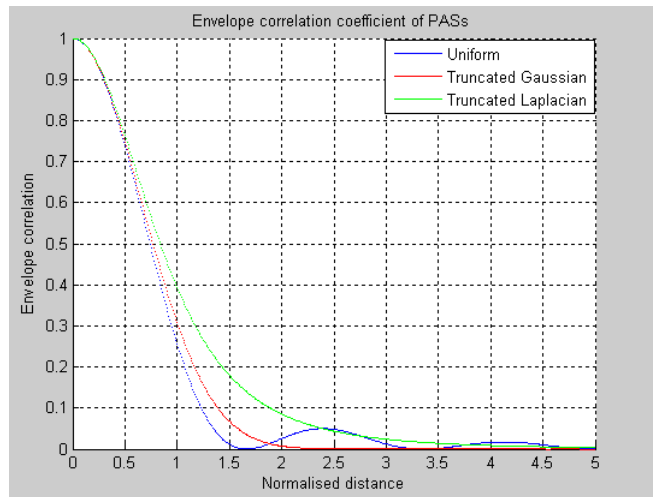
Xét trường hợp one-cluster, các thông số cố định nhập cho cluster là: Amplitude\_cluster = 1, AoA = 0°, Delta\_phi\_deg = 90°. Trong dãy, chọn một anten làm chuẩn, thông thường là anten đầu tiên của dãy; gọi D là khoảng cách chuẩn hóa theo bước sóng mang từ anten chuẩn đó đến anten gần nó nhất. Cho khoảng cách chuẩn hóa này thay đổi từ 0 ÷ 5(d/λ) với d là khoảng cách vật lý và λ là bước sóng tín hiệu sóng mang. Để khảo sát tác động của AS\_deg đối với hệ số tương quan, ta lần lượt xét các trường hợp ứng với AS\_deg là 5°, 10°, 20° ( hình 4a, b,c).

Điều dễ dàng nhận thấy qua 3 hình này là với cùng 1 giá trị  $AS\_deg$ , hệ số tương quan trong trường hợp Gaussian PAS và Laplacian PAS giảm nhanh từ 1 cho tới zero khi khoảng cách chuẩn hóa tăng lên. Riêng trường hợp Uniform PAS, hệ số tương quan biến thiên như một tín hiệu dạng sin bị suy giảm dần về zero. Hầu như với cùng thông số cluster và xét tại cùng một khoảng cách nhất định thì hệ số tương quan trường hợp Laplacian PAS lớn nhất và hệ số tương quan trường hợp Uniform thấp nhất. Đó là do trong 3 trường hợp PAS, Laplacian là trường hợp có mức độ tập trung năng lượng cao nhất, còn Uniform PAS do trải đều trên một vùng xác định nên mức tập trung năng lượng là rất thấp.

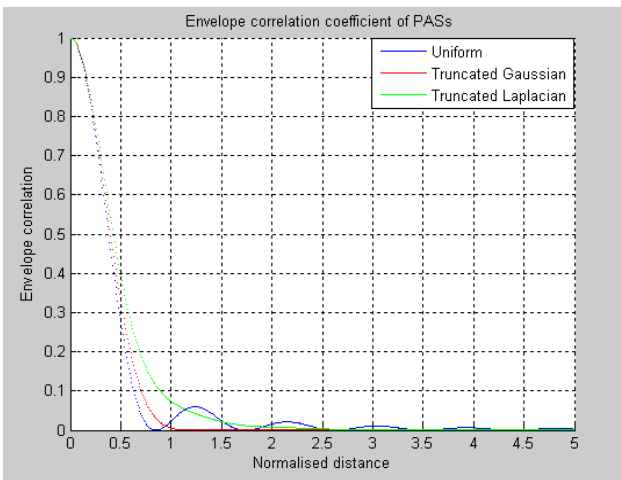
Ngoài ra, khi  $AS\_deg$  càng tăng, tốc độ suy giảm về zero của hệ số tương quan càng nhanh hay nói cách khác là mức độ trải năng lượng càng rộng, tính tương quan của kênh truyền càng giảm. Có thể giải thích ngắn gọn như sau. Độ rộng của PAS là chủ yếu do  $AS\_deg$  quyết định, khi  $AS\_deg$  tăng lên, năng lượng phải trải rộng thêm, kết quả là năng lượng tập trung tại một hướng sẽ suy giảm, dẫn đến biên độ tín hiệu tới giảm và chính vì thế tương quan giữa các tín hiệu giữa hai anten giảm xuống.



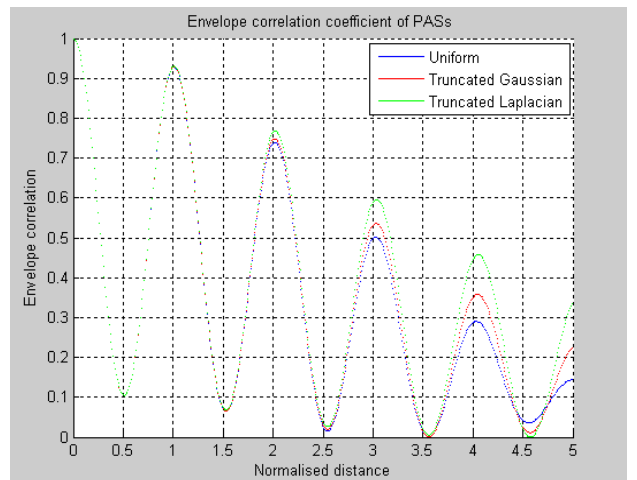
**Hình 4a.** Trường hợp  $AS\_deg = 5^{\circ}$



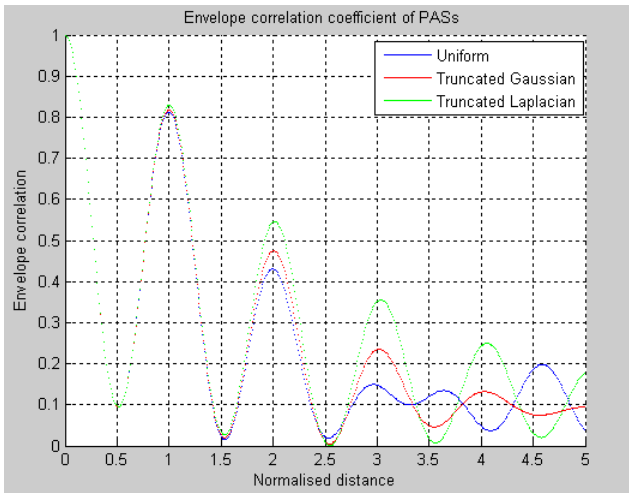
**Hình 4b.** Trường hợp  $AS\_deg = 10^{\circ}$



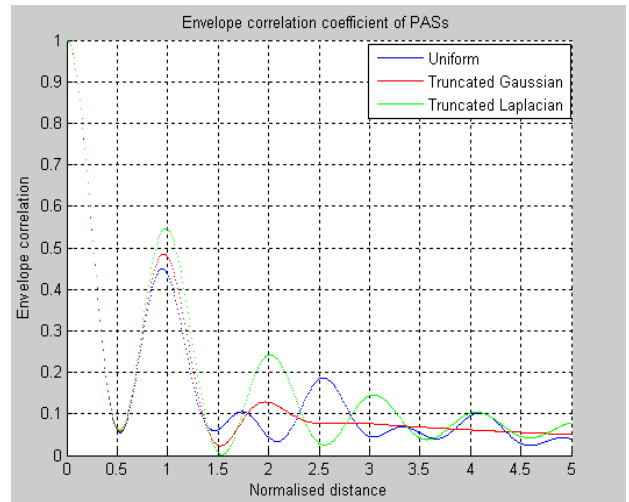
**Hình 4c.** Trường hợp  $AS\_deg = 20^{\circ}$



**Hình 5a.** Trường hợp  $AS\_deg = 10^{\circ}$



Hình 5b. Trường hợp  $AS\_deg = 5^{\circ}$

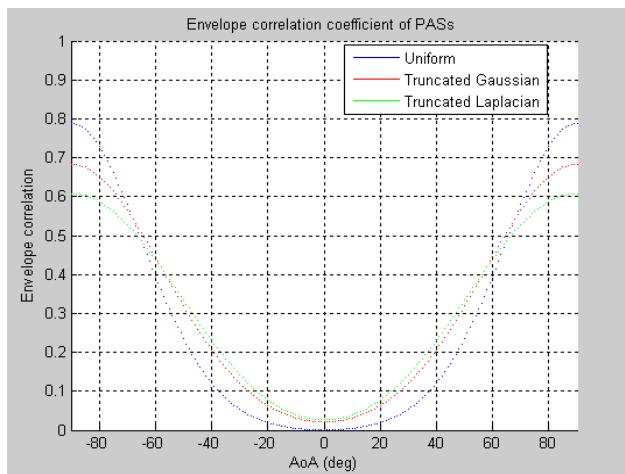


Hình 5c. Trường hợp  $AS\_deg = 20^{\circ}$

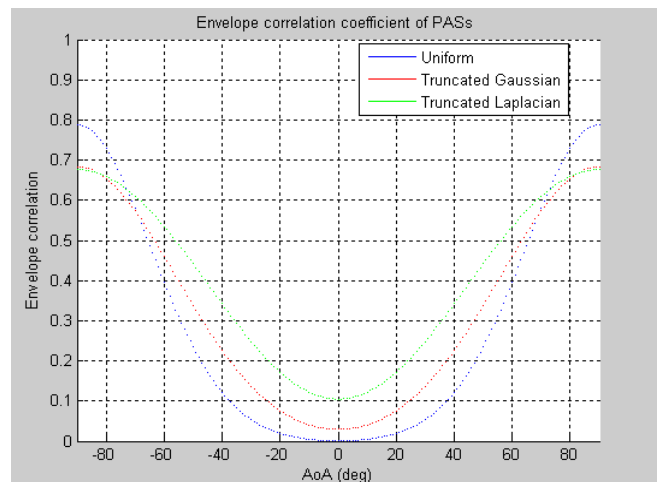
Trong trường hợp multi-cluster, cụ thể xét trường hợp 2 cluster: tiến hành mô phỏng như trường hợp one-cluster nhưng bây giờ có thêm 1 cluster tới với biên độ giảm đi phân nửa, các thông số khác không đổi. Quan sát các kết quả thu được trên hình 5a, b và c, ta nhận thấy so với trường hợp one-cluster, quá trình biến thiên của hệ số tương quan trường hợp multi-cluster tương đối khác. Một cách trực quan, có thể thấy sự biến thiên này giống như sự biến thiên biên độ của một dao động tắt dần. Ngoài ra, quá trình biến thiên này có tính tuần hoàn, cứ sau  $1/d/\lambda$  hệ số tương quan lại đạt cực đại. Đó là do trong trường hợp multi-cluster, các cluster ảnh hưởng, tác động với nhau gây ra hiện tượng cộng hưởng tín hiệu. Tùy thuộc vào khoảng cách mà sự lệch pha giữa các cluster sẽ khác nhau, dẫn đến sự biến thiên của hệ số tương quan. Do độ lệch pha có tính tuần hoàn nên sự biến thiên cũng có tính tuần hoàn.

**b) Ảnh hưởng của góc tới AoA tới hệ số tương quan**

Ta sẽ khảo sát hệ số tương quan trong một số trường hợp ứng với các góc tới AoA khác nhau:  $0^{\circ}$ ,  $20^{\circ}$  và  $50^{\circ}$ . Ở đây ta cố định độ rộng phổ với việc cho  $AS\_deg = 35^{\circ}$  và hệ số tương quan xét tại vị trí có spacing là  $0,5\lambda$ . Hệ số tương quan ở dạng envelope. Xét cả ba dạng phân bố PAS. Kết quả mô phỏng được hiển thị trên hình 6a và b.



Hình 6a. Trường hợp  $\Delta\phi = 90^{\circ}$



Hình 6b. Trường hợp  $\Delta\phi = 180^{\circ}$

Ta có thể đưa ra một số nhận xét và đánh giá như sau:

- Khi góc tới thay đổi thì hệ số tương quan tín hiệu tại một vị trí cố định cũng sẽ thay đổi. Nếu xem đây như là quan hệ dưới dạng hàm số thì đây là sẽ một hàm chẵn do tính đối xứng của góc tới. Do vậy, ta chỉ xem xét phần góc tới dương.
- Khi AoA biến thiên từ  $0^\circ \div 90^\circ$  hệ số tương quan tăng dần theo đường cong. Khi AoA càng lớn, độ dốc càng tăng. Trường hợp Uniform PAS, đường cong dốc nhất.
- Ứng với cùng một giá trị AS\_deg, trường hợp  $\Delta\phi = 90^\circ$  sẽ cho giá trị độ lệch chuẩn lớn hơn trường hợp  $\Delta\phi = 180^\circ$  dẫn đến hệ số tương quan trường hợp  $\Delta\phi = 90^\circ$  nhỏ hơn trường hợp  $\Delta\phi = 180^\circ$ .

## V. KẾT LUẬN

Bài viết đã giới thiệu kỹ thuật MIMO và quá trình mô hình hóa kênh truyền, trong đó tập trung nghiên cứu về xây dựng ma trận tương quan của kênh truyền thông qua việc khảo sát phân bố công suất PAS. Các kết quả này hỗ trợ cho việc thiết lập mô hình và ước lượng các thông số kênh truyền MIMO, qua đó đánh giá các giải thuật nâng cao chất lượng hệ thống MIMO. Ngoài ra còn nhiều vấn đề của hệ thống cần nghiên cứu nhưng vì khuôn khổ của bài báo có hạn nên các tác giả không thể trình bày hoàn chỉnh. Đề tài có thể phát triển theo hướng khảo sát các vấn đề của một hệ thống kết hợp các kỹ thuật MIMO và OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing – ghép kênh tần số trực giao) như trong các chuẩn IEEE 802.11n và 802.16, một trong các hướng nghiên cứu đang phát triển mạnh trên thế giới hiện nay [4].

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. David Tse “*Fundamentals of Wireless Communication*”, University of California, Berkeley & Pramod Viswanath, University of Illinois, Urbana-Champaign, September 10, 2004.
- [2]. Oestges C., Erceg V., Paulraj A.J. “*A physical scattering model for MIMO macrocellular broadband wireless channels*”, IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Volume 21, Issue 5, June 2003, pp.721 – 729
- [3]. Pefersen K.I., Mogensen P.E., Fleury B.H. “*Spatial Channel Characteristics in Outdoor Environments and Their Impact on BS Antenna System Performance*”, Proceedings of IEEE Vehicular Technology Conferences VTC 1998, Ottawa, Canada, vol. 2, pp.719-723.
- [4]. Luo Z., Gao H., Liu Y. “*Adaptive Transmission with Linear Computational Complexity in MIMO-OFDM Systems*”, IEEE Trans on Communications, Volume 55, Issue 10, October 2007, pp.1873-1877.