

KHẢO SÁT VẤN ĐỀ ƯỚC LƯỢNG KÊNH CHO HỆ THỐNG DI ĐỘNG BƯỚC SÓNG MM

Phạm Hùng*, Đặng Hoài Bắc*, Nguyễn Tiến Ban*

* Học viện Quản lý Giáo dục.

+ Học Viện Công Nghệ Bưu Chính Viễn Thông

Tóm tắt: Hệ thống di động bước sóng cỡ mm sẽ mang lại tốc độ cỡ gigabit/s cho người dùng ở các tần số mmWave. Để đạt được tốc độ đó thì hệ thống cần sử dụng số lượng ăng ten rất lớn tại cả phía thu và phát để hội tụ búp sóng về phía người dùng. Do số lượng ăng ten là rất lớn nên hệ thống tiền mã hóa lai số và tương tự sẽ được sử dụng nhằm giảm giá thành phần cứng. Việc sử dụng nhiều ăng ten và thành phần tiền mã hóa tương tự gây khó khăn cho việc ước lượng kênh chính xác trong hệ thống mmWave. Rất nhiều kỹ thuật đã được đề xuất để giải quyết vấn đề này. Trong bài báo này chúng tôi sẽ khảo sát các kỹ thuật đã được đề xuất từ đó đề ra hướng nghiên cứu mở cho vấn đề này.

Từ khóa: Massive MIMO, mmWave, ước lượng kênh.

I. GIỚI THIỆU

Hệ thống liên lạc mmWave có nhiều lợi thế để đạt được dung lượng cao trong liên lạc vô tuyến [1], [2], [3]. Ưu điểm của băng thông rộng trong hệ thống mmWave đã thu hút nhiều nghiên cứu nhằm giải quyết các vấn đề còn tồn tại để triển khai trong thực tế [4], [5], [6]. Đặc trưng trong truyền sóng của băng mmWave là tính định hướng cao cùng với suy hao lớn và chỉ phân tán ra ít đường. Vấn đề suy hao lớn trong mmWave được bù đắp bởi độ lợi tạo ra do sử dụng số lượng ăng ten rất lớn nhằm hội tụ búp sóng. Để đạt được sự hội tụ này thì vấn đề ước lượng trạng thái kênh truyền (CSI) hay nói một cách khác là ước lượng góc tới và góc phản xạ và phản hồi về trạm gốc (BS) là một thách thức cần phát triển các kỹ thuật mới [7].

Một hướng nghiên cứu đề xuất thuật toán tạo búp sóng bằng kỹ thuật tương tự mà không cần biết thông tin trạng thái kênh truyền CSI bằng cách điều khiển pha của từng ăng ten thông qua mạng dịch pha tương tự [8], [9], [10]. Trong các nghiên cứu này, chỉ với cách thay đổi pha của từng ăng ten sẽ tạo ra một tập các mẫu búp sóng hướng về các góc quét khác nhau. Trên cơ sở đó các thuật toán ước lượng đa trạng thái tạo ra các búp sóng có độ rộng khác nhau với mục tiêu là quét từng góc lớn để xác định hướng thu/phát sau đó thu hẹp độ rộng búp sóng để định vị chính xác hơn búp sóng có độ lợi lớn nhất. Việc sử dụng kỹ thuật dịch pha rời rạc này sẽ giúp giảm thiểu thời gian xác định

búp sóng tối ưu thay vì kỹ thuật vét cạn để xác định góc thu và phát như trước đây. Nhược điểm của kỹ thuật này là chỉ có một búp sóng với một luồng dữ liệu duy nhất giữa trạm thu và trạm phát.

Để giải quyết hạn chế trên, việc tạo ra các búp sóng với nhiều luồng dữ liệu đồng thời hay còn gọi là tiền mã hóa được đề xuất nhằm tăng hiệu quả sử dụng phổ. Việc này có thể thực hiện bằng các hệ thống tạo búp sóng và tiền mã hóa đều thực hiện ở tầng cơ sở nhưng do sự đắt đỏ về phần cứng nên việc tạo búp sóng trong miền tương tự nhận được nhiều sự quan tâm và nghiên cứu hơn [11], [12]. Trong nghiên cứu [11], việc tạo búp sóng trong miền tương tự nhằm giảm nhiễu giữa các thuê bao bằng số lượng nhỏ các bộ dịch pha mà không thay đổi về biên độ. Từ đó có thể giảm được độ phân giải ở các bộ biến đổi tương tự số ADC. Nhờ đó lượng tiêu thụ năng lượng sẽ được giảm xuống. Tuy nhiên nghiên cứu này không đánh giá các đặc tính của hệ thống liên lạc có bước sóng cỡ mm. Trong nghiên cứu [12], tính thừa thớt của kênh truyền hệ thống mmWave đã được tính đến với điều kiện thông tin về trạng thái kênh truyền CSI là hữu hạn, chỉ tối ưu riêng rẽ phía thu và phía phát. Nhược điểm khác của nghiên cứu này là chỉ xem xét hệ thống tiền mã hóa lai tương tự và số một người dùng.

Khắc phục các nhược điểm trên, trong nghiên cứu [13] đã đề xuất kỹ thuật ước lượng kênh và tiền mã hóa lai tương tự và số có thể tạo ra các búp sóng có độ rộng khác nhau để tiệm cận với hiệu quả của kỹ thuật tiền mã hóa kỹ thuật số và phục vụ nhiều thuê bao đồng thời. Nghiên cứu [14] cũng hướng đến phục vụ nhiều người dùng bằng cách lựa chọn tập búp sóng phục vụ trực giao và nhấn mạnh tầm quan trọng của việc tối ưu thời gian ước lượng kênh truyền.

Ký hiệu: Chúng tôi ký hiệu các chữ cái thường như (e.g., a) cho biến số, các ma trận và véc tơ là các chữ in thường và in hoa đậm (e.g., $\mathbf{h}$ và $\mathbf{H}$). $\mathbf{I}_N$ là ma trận đơn vị. $\mathbf{0}_N$ là ma trận không có kích thước $N \times N$. $\mathbf{A}^T$ là ma trận chuyển vị của ma trận $\mathbf{A}$, $\mathbf{A}^*$ là ma trận chuyển vị liên hợp, $E[\cdot]$ là toán tử kỳ vọng.

II. KHẢO SÁT KỸ THUẬT ƯỚC LƯỢNG KÊNH TRONG HỆ THỐNG MMWAVE

A. Hướng tạo búp sóng bằng kỹ thuật tương tự

Hệ thống sử dụng các bộ dịch pha thay cho các bộ điều chỉnh cả pha và biên độ của hệ thống tiền mã hóa kỹ thuật số. Kỹ thuật này sử dụng số lượng các tập ăng ten khác

Tác giả liên hệ: Phạm Hùng,

Email: hungp@niem.edu.vn

Đến tòa soạn: 22/10/2021, chỉnh sửa: 13/11/2021, chấp nhận đăng: 02/12/2021.

nhau để tạo ra các búp sóng có độ rộng khác nhau [8]. Tín hiệu băng tần cơ sở sẽ được điều chế lên băng tần vô tuyến RF và đi qua bộ dịch pha với các véc tơ trọng số khác nhau để phát vào không gian. Tương tự tại phía thu thì tín hiệu RF thu được cũng qua các bộ dịch pha với trọng số khác nhau rồi điều chế xuống băng tần cơ sở. Mục tiêu của kỹ thuật này là tìm các véc tơ trọng số tối ưu tại cả hai phía phát và phía thu để tối ưu một hàm mục tiêu có biến số ví dụ như tỉ lệ tín hiệu trên nhiễu SINR. Đây là điều hoàn toàn khác với kỹ thuật ước lượng kênh truyền thống là sử dụng các chuỗi tín hiệu hoa tiêu.

Để đạt được mục tiêu trên thì đầu tiên một ma trận mã hóa thể hiện sự kết hợp giữa số lượng ăng ten, công suất phát và pha trên từng cột ăng ten nhằm tạo ra nhiều mẫu phát xạ được thiết lập. Thuật toán tìm kiếm búp sóng tối ưu thường chia ra nhiều mức, phát từ mẫu phát xạ có búp sóng to nhất để tìm hướng tối ưu rồi tiếp tục dò tìm với các búp sóng nhỏ hơn cho đến khi tìm được búp sóng nhỏ nhất có độ lợi cao nhất. Nghiên cứu [15] còn cải tiến ma trận từ mã ω cho phép phát đồng thời nhiều búp sóng mà độ can nhiễu nhỏ nhất:

$$\begin{pmatrix} \omega(0,0) & \omega(0,1) & \dots & \omega(0,K-1) \\ \dots & & & \\ \omega(N-1,0) & \omega(N-1,1) & \dots & \omega(N-1,K-1) \end{pmatrix} \quad (1)$$

trong đó, $\omega(n,k)(n=1,2,\dots,N)$ là véc tơ trọng số thứ k của từ mã.

Ký hiệu d là khoảng cách giữa các chấn tử ăng ten và bằng nửa bước sóng, λ là bước sóng và θ là góc cực của mảng ăng ten thì hệ số của một mảng ăng ten có thể được viết thành

$$\begin{aligned} \mathbf{A}(k, \theta) &= \sum_{n=0}^{N-1} \omega(n, k) \exp(j \times 2\pi n \times \frac{d}{\lambda} \times \cos(\theta)) \\ &= \sum_{n=0}^{N-1} \omega(n, k) \exp(j \times \pi n \times \cos(\theta)) \end{aligned} \quad (2)$$

Để giảm thiểu nhiễu giữa các búp sóng thì các cột của ma trận từ mã cần trực giao từng đôi một. Trong [15] thì từ mã dịch pha được đề xuất là:

$$\omega(n, k) = \exp\left(\frac{j \times 2\pi n \times k}{N}\right) \quad (3)$$

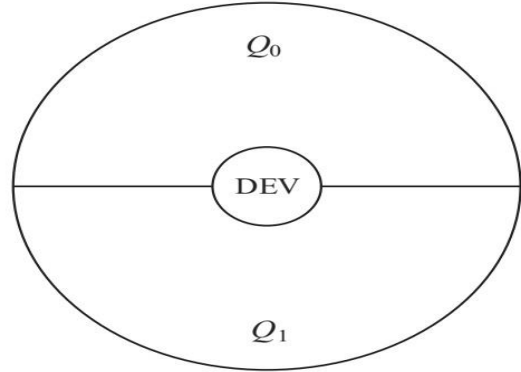
Như vậy, với ăng ten có bốn cột chấn tử thì sẽ tạo ra được ma trận từ mã sau:

$$\begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & j & -1 & -j \\ 1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & -j & -1 & 1 \end{pmatrix} \quad (4)$$

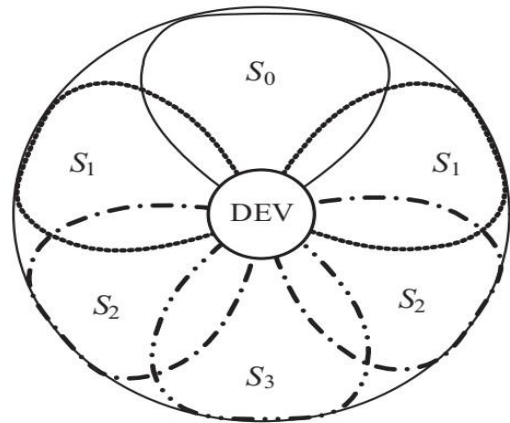
Từ ma trận bốn từ mã này thì có thể tạo bốn búp sóng. Nếu cộng cột 1 với cột 2, cột 3 với cột 4 thì sẽ tạo ra ma trận có hai từ mã tức là hai búp sóng như (5). Đây là cách thức tạo ra các ma trận từ mã nhiều trạng thái.

$$\begin{pmatrix} 1 & 1 \\ \frac{1+j}{2} & -\frac{1+j}{2} \\ 0 & 0 \\ \frac{1-j}{2} & -\frac{1-j}{2} \end{pmatrix} \quad (5)$$

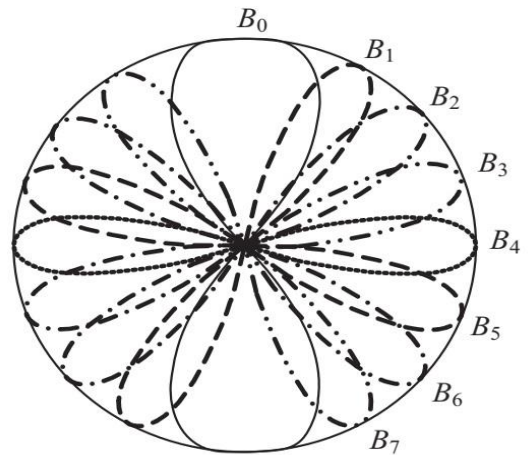
Ví dụ, các mẫu phát sóng được chia làm ba mức [8]: bán nguyệt trong hình 1, khu vực trong hình 2, và búp sóng trong hình 3:



Hình 1: Mẫu phát xạ hình bán nguyệt.



Hình 2: Mẫu phát xạ theo khu vực.



Hình 3: Mẫu phát xạ của búp sóng

B. Hướng sử dụng tiền mã hóa lai tương tự và số một người dùng

Ở đây, chúng ta sẽ nghiên cứu một hệ thống mmWave nhiều đầu vào và nhiều đầu ra cỡ rất lớn bao gồm một trạm gốc và một thuê bao. Khắc phục nhược điểm chỉ có một búp sóng của hệ thống sử dụng kỹ thuật tương tự, các hệ thống sử dụng tiền mã hóa lai sẽ kết hợp giữa tiền mã hóa kỹ thuật số và tiền mã hóa tương tự. Trong đó trạm gốc với M_{BS} ăng ten và có M_S bộ RF, truyền M_S luồng dữ liệu đồng thời tới M_{MS} ăng ten của thuê bao, với $M_{BS} \geq M_S \geq M_{MS}$.

Trạm gốc BS sử dụng tiền mã hoá bằng cơ sở kích thước $M_S \times M_S$: $\mathbf{F}_{BB} = [\mathbf{f}_1^{BB}, \mathbf{f}_2^{BB}, \dots, \mathbf{f}_{M_S}^{BB}]$, rồi đưa đến tiền mã hoá tương tự kích thước $M_{BS} \times M_S$:

$$\mathbf{F}_{RF} = [\mathbf{f}_1^{RF}, \mathbf{f}_2^{RF}, \dots, \mathbf{f}_{M_S}^{RF}] \quad (6)$$

Tín hiệu được truyền đi là

$$\mathbf{x} = \mathbf{F}_{RF} \mathbf{F}_{BB} \mathbf{s} \quad (7)$$

trong đó $\mathbf{s} = [\mathbf{s}_1, \mathbf{s}_2, \dots, \mathbf{s}_{M_S}]^T$ là véc tơ của tín hiệu phát

có $E[\mathbf{s}\mathbf{s}^H] = \frac{1}{M_S} \mathbf{I}_{M_S}$. Bởi vì bộ RF sử dụng các bộ dịch

pha tương tự nên các giá trị của nó là hằng số thỏa mãn $|\mathbf{F}_{RF}|_{m,n}|^2 = \frac{1}{M_{BS}}$. Hay nói một cách khác,

$$[\mathbf{F}_{RF}]_{m,n} = \frac{1}{\sqrt{M_{BS}}} e^{j\phi_{m,n}}, \text{ trong đó } \phi_{m,n} \text{ là góc pha được}$$

lượng tử hóa. Để thỏa mãn giới hạn về công suất $|\mathbf{F}_{RF} \mathbf{F}_{BB}|^2 = M_S$.

Tín hiệu nhận được tại phía thu là:

$$\mathbf{y} = \sqrt{\rho} \mathbf{W}_{BB}^H \mathbf{W}_{RF}^H \mathbf{H} \mathbf{F}_{RF} \mathbf{F}_{BB} \mathbf{s} + \mathbf{w}_{BB}^H \mathbf{w}_{RF}^H \mathbf{n}. \quad (8)$$

trong đó $\mathbf{H}$ là ma trận kênh truyền $M_{MS} \times M_{BS}$ giữa trạm gốc và thuê bao, $\mathbf{n} \sim \text{CN}(\mathbf{0}, \mathbf{I})$ là nhiễu Gauss, ρ đại diện cho công suất phát và $\mathbf{w}_{BB}, \mathbf{w}_{RF}$ là ma trận kết hợp phía thu. Kênh truyền được giả định có L tán xạ cho thuê bao [16], [17]. Dung lượng hệ thống đạt được là:

$$R = \log_2 \left(1 + \frac{\rho}{M_S} \mathbf{R}_n^{-1} \mathbf{W}_{BB}^H \mathbf{W}_{RF}^H \mathbf{H} \mathbf{F}_{RF} \mathbf{F}_{BB} \mathbf{F}_{BB}^H \mathbf{F}_{RF} \mathbf{W}_{RF} \mathbf{W}_{BB} \right) \times \mathbf{H}^H \mathbf{W}_{RF} \mathbf{W}_{BB}, \quad (9)$$

trong đó, $\mathbf{R}_n = \sigma_n^2 \mathbf{W}_{BB}^H \mathbf{W}_{RF}^H \mathbf{W}_{RF} \mathbf{W}_{BB}$ là ma trận tương quan nhiễu sau kết hợp.

Việc tìm tập các ma trận tối ưu $(\mathbf{F}_{RF}, \mathbf{F}_{BB}, \mathbf{W}_{RF}, \mathbf{W}_{BB})$ để tăng dung lượng hệ thống theo công thức (9) là phức tạp vì vậy trong [12] đề xuất tách việc tối ưu tại hai phía thu và phát. Tại phía phát sẽ tìm tập ma trận $(\mathbf{F}_{RF}, \mathbf{F}_{BB})$ sao cho

$$\psi = \log_2 \left(1 + \frac{\rho}{M_S \sigma_n^2} \mathbf{H} \mathbf{F}_{RF} \mathbf{F}_{BB} \mathbf{F}_{BB}^H \mathbf{F}_{RF}^H \mathbf{H}^H \right) \quad (10)$$

là lớn nhất.

Một trong những tập gần tối ưu của (10) là:

$$(\mathbf{F}_{RF}^{opt}, \mathbf{F}_{BB}^{opt}) = \max_{\{\mathbf{F}_{RF}, \mathbf{F}_{BB}\}} \Phi(\mathbf{F}_{RF}, \mathbf{F}_{BB})$$

$$s.t. \quad \mathbf{F}_{RF} \in \mathbf{F}_{RF} \quad (11)$$

$$|\mathbf{F}_{RF} \mathbf{F}_{BB}|^2 = M_S$$

trong đó, $\mathbf{F}_{RF}$ là tập giá trị có thể của tiền mã hóa $\mathbf{F}_{RF}$

C. Hướng sử dụng tiền mã hóa lai tương tự và số nhiều người dùng

Ở đây xem xét một hệ thống đơn tế bào đa người dùng có một trạm gốc và K_a thuê bao. Trạm gốc BS được trang bị M_{BS} ăng ten và M_{RF} bộ RF. Mỗi thuê bao có M_{MS} ăng ten, và giả định rằng chỉ có một luồng dữ liệu với trạm gốc. Hơn nữa, ở đây giả thiết rằng trạm gốc BS chỉ lựa chọn tập thuê bao $K_s = \{1, 2, \dots, K_s\}$ từ K_a thuê bao để phục vụ. Vì thế tổng số luồng dữ liệu là M_S , và $M_S \leq M_{RF} \leq M_{BS}$.

Trạm gốc BS sử dụng tiền mã hoá bằng cơ sở $\mathbf{F}_{BB} = [\mathbf{f}_1^{BB}, \mathbf{f}_2^{BB}, \dots, \mathbf{f}_{M_S}^{BB}]$ với kích thước $M_S \times M_S$ theo sau là tiền mã hóa RF $\mathbf{F}_{RF} = [\mathbf{f}_1^{RF}, \mathbf{f}_2^{RF}, \dots, \mathbf{f}_{M_S}^{RF}]$ với kích thước $M_{BS} \times M_S$. Vì vậy, tín hiệu truyền đi là

$$\mathbf{x} = \mathbf{F}_{RF} \mathbf{F}_{BB} \mathbf{s}, \quad (12)$$

Mô hình kênh truyền là fa đình khối hẹp, thuê bao u sẽ nhận được tín hiệu [12], [13], [14]:

$$\mathbf{y}_u = \sqrt{\rho} \mathbf{w}_u^H \mathbf{H}_u \mathbf{F}_{RF} \mathbf{F}_{BB} \mathbf{s} + \mathbf{w}_u^H \mathbf{n}_u, \quad (13)$$

trong đó $\mathbf{H}_u$ với kích thước $M_{MS} \times M_{BS}$ là ma trận kênh truyền giữa trạm gốc BS và thuê bao u , $\mathbf{n}_u \sim \text{CN}(\mathbf{0}, \mathbf{I})$ là nhiễu Gauss, ρ thể hiện công suất phát và $\mathbf{w}_u \in \mathbb{C}^{M_{MS} \times 1}$ là ma trận kết hợp RF. Ở đây giả định rằng kênh truyền gồm L_u tín hiệu tán xạ cho thuê bao u [16], [17]. Vì thế, kênh truyền $\mathbf{H}_u$ có thể được biểu diễn như sau [21]:

$$\mathbf{H}_u = \sqrt{\frac{M_{BS} M_{MS}}{L_u}} \sum_{l=1}^{L_u} \alpha_{u,l} \mathbf{a}_{MS}(\theta_{u,l}) \mathbf{a}_{BS}^H(\phi_{u,l}), \quad (14)$$

trong đó $\alpha_{u,l}$ là độ lợi của đường thứ l , $\theta_{u,l}$ và $\phi_{u,l} \in [0, 2\pi]$ là góc tới và góc phát (AoAs/AoDs) của đường thứ l , $\mathbf{a}_{MS}(\theta_{u,l})$ và $\mathbf{a}_{BS}(\phi_{u,l})$ là véc tơ đáp ứng mảng ăng ten của trạm gốc BS và thuê bao u .

Ở đây giả định ăng ten mảng tuyến tính (ULA) được sử dụng, véc tơ đáp ứng được định nghĩa như sau [21]

$$a_{MS}(\theta_{u,l}) = \sqrt{\frac{1}{M_{MS}}} [1, e^{j2\pi\theta}, \dots, e^{j2\pi(N_{MS}-1)\theta}]^T, \quad (15)$$

$$a_{BS}(\phi_{u,l}) = \sqrt{\frac{1}{M_{BS}}} [1, e^{j2\pi\phi}, \dots, e^{j2\pi(N_{BS}-1)\phi}]^T,$$

trong đó $\theta = \frac{d \sin(\theta_{u,l})}{\lambda}$, $\phi = \frac{d \sin(\phi_{u,l})}{\lambda}$, λ là bước sóng của tín hiệu, và d là cự ly giữa các chấn tử của ăng ten.

Việc ước lượng kênh truyền ở đây trở thành các tham số của L kênh truyền bao gồm góc phát, góc tới và độ lợi của mỗi đường.

$$\mathbf{y}_{p,q} = \mathbf{w}_q^H \mathbf{H} \mathbf{f}_p \mathbf{s}_p + \mathbf{w}_q^H \mathbf{n}_{p,q}, \quad (16)$$

Khi truyền tín hiệu ước lượng kênh thì tất cả các tín hiệu đều bằng nhau $\mathbf{S} = \sqrt{P} \mathbf{I}_{M_{BS}}$.

Vì vậy,

$$\mathbf{Y} = \sqrt{P} \mathbf{W}^H \mathbf{H} \mathbf{F} + \mathbf{Q} \quad (17)$$

Véc tơ hóa ma trận ta có [13]:

$$\mathbf{y}_v = \sqrt{P} (\mathbf{F}^T \otimes \mathbf{W}^H) (\mathbf{A}_{BS}^* \mathbf{O} \mathbf{A}_{MS}) \mathbf{z} + \mathbf{n}_Q. \quad (18)$$

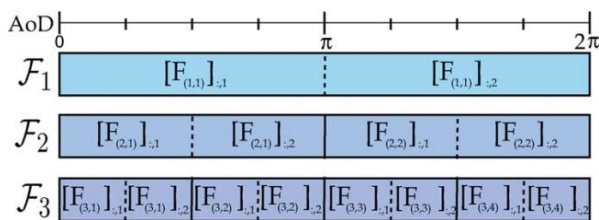
Quá trình ước lượng được chia làm S giai đoạn, và kết quả của giai đoạn trước sẽ là đầu vào để thiết kế các ma trận tiền mã hóa của giai đoạn tiếp theo [13]:

$$\begin{aligned} \mathbf{y}_1 &= \sqrt{P_{(1)}} (\mathbf{F}_{(1)}^T \otimes \mathbf{W}_{(1)}^H) (\mathbf{A}_{BS,D}^* \mathbf{O} \mathbf{A}_{MS,D}) \mathbf{z} + \mathbf{n}_1 \\ \mathbf{y}_2 &= \sqrt{P_{(2)}} (\mathbf{F}_{(2)}^T \otimes \mathbf{W}_{(2)}^H) (\mathbf{A}_{BS,D}^* \mathbf{O} \mathbf{A}_{MS,D}) \mathbf{z} + \mathbf{n}_2 \\ &\dots \end{aligned} \quad (19)$$

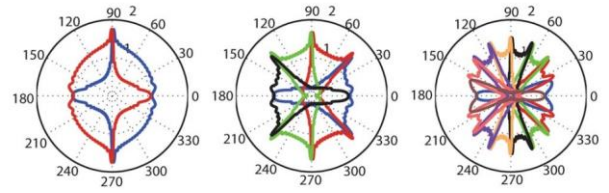
$$\mathbf{y}_S = \sqrt{P_{(S)}} (\mathbf{F}_{(S)}^T \otimes \mathbf{W}_{(S)}^H) (\mathbf{A}_{BS,D}^* \mathbf{O} \mathbf{A}_{MS,D}) \mathbf{z} + \mathbf{n}_S$$

Thuật toán khởi tạo với việc chia véc tơ $\mathbf{z}$ thành một số phân đoạn tương ứng với việc chia góc tới và góc phản xạ thành góc nhỏ. Việc thiết kế các ma trận tiền mã hóa $\mathbf{F}_{(1)}$ và ma trận kết hợp $\mathbf{W}_{(1)}$ để xác định các góc này. Kết quả $\mathbf{y}_1$ được sử dụng để xác định các góc có chất lượng kênh truyền tối ưu nhất. Sau đó các góc này lại được chia nhỏ hơn nữa với mức chia phù hợp.

Một ví dụ về một bộ từ mã nhiều mức phân giải [13]



Hình 4: Bộ từ mã ba mức độ phân giải.
Kết quả sẽ có mẫu búp sóng như hình 5 [13]



Hình 5: Búp sóng tương ứng với bộ từ mã.

III. HƯỚNG NGHIÊN CỨU TIẾP THEO

Trong bài báo này chúng ta đã nghiên cứu các kỹ thuật ước lượng kênh trong hệ thống vô tuyến nhiều đầu vào và nhiều đầu ra cỡ rất lớn ở bước sóng cỡ mm giai đoạn 2009-2021. Kỹ thuật ước lượng kênh trong hệ thống mmWave thay đổi từ cách tiếp truyền thống sử dụng chuỗi tín hiệu hoa tiêu sang xác định các góc tới và góc phản xạ của kênh truyền. Xuất phát ban đầu là các nghiên cứu đề xuất sử dụng kỹ thuật tương tự thay đổi pha của tín hiệu nhằm dò quét các búp sóng với độ rộng hẹp dần nhằm tìm ra góc tới và góc phản xạ tối ưu nhất. Tiếp theo các nghiên cứu đề xuất áp dụng cách xác định các trọng số tối ưu để áp dụng tiền mã hóa kỹ thuật số ở băng cơ sở để cho phép tạo ra nhiều luồng dữ liệu đồng thời giữa hai bên thu và phát. Các nghiên cứu mới nhất cũng đã khai thác và nghiên cứu sử dụng đặc tính thừa thớt về số lượng đường tín hiệu trong quá trình ước lượng kênh truyền. Tuy nhiên còn nhiều đặc tính của hệ thống di động bước sóng cỡ mm còn chưa được nghiên cứu đầy đủ cho vấn đề ước lượng kênh truyền, chúng tôi liệt kê một số hướng phát triển tiếp theo có thể là:

- Xem xét sử dụng đặc tính lão hóa kênh truyền trong quá trình ước lượng kênh của các hệ thống mmWave. Đặc trưng của ứng dụng của hệ thống di động bước sóng mm là chủ yếu áp dụng cho truyền sóng trong tầm nhìn thẳng do tính suy hao rất cao khi gặp vật cản. Nếu như thuê bao không di chuyển với tốc độ cao thì kênh truyền của thuê bao sẽ ổn định, ít thay đổi và chúng ta hoàn toàn có thể ước lượng kênh truyền từ các giá trị trong quá khứ bằng kỹ thuật lão hóa kênh truyền.
- Lỗi của quá trình lượng tử hoá. Trong thực tế thì các góc tới và góc phản xạ AoA/AoD được lượng tử hoá và rời rạc nên sẽ phát sinh lỗi của quá trình lượng tử hoá lên kỹ thuật ước lượng kênh truyền. Ảnh hưởng của vấn đề lỗi của quá trình lượng tử hoá cần được nghiên cứu và đề xuất hướng giải quyết nếu cần thiết.

IV. KẾT LUẬN

Nhu cầu áp dụng công nghệ truyền sóng ở bước sóng cỡ mm đã thúc đẩy các nghiên cứu về kỹ thuật ước lượng kênh truyền nhằm giải quyết các thách thức đặt ra để đưa vào ứng dụng các hệ thống mmWave trên thực tế. Các nghiên cứu về kỹ thuật ước lượng kênh trong hệ thống mmWave có thể được chia ra làm ba hướng chính: 1) Hướng sử dụng kỹ thuật tiền mã hóa tương tự, 2) Hướng sử dụng kỹ thuật tiền mã hóa lai tương tự và số một người dùng, và 3) Hướng sử dụng kỹ thuật tiền mã hóa lai tương tự và số nhiều người dùng. Bên cạnh đó, chúng tôi cũng đã đề xuất hướng nghiên cứu tiếp theo của kỹ thuật ước lượng kênh như xem

xét việc áp dụng đặc tính lão hóa kênh truyền trong hệ thống mmWave. Chúng tôi hy vọng rằng nghiên cứu này sẽ giúp thúc đẩy quá trình nghiên cứu về kỹ thuật ước lượng kênh truyền trong hệ thống mmWave nhiều và hiệu quả hơn nữa nhằm nâng cao hiệu quả của các hệ thống mmWave trong tương lai.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Z. Pi and F. Khan, "An introduction to millimeter-wave mobile broadband systems," *IEEE Communications Magazine*, vol. 49, no. 6, pp. 101–107, June 2011.
- [2] J. G. Andrews, S. Buzzi, and et al, "What will 5g be?" *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 32, no. 6, pp. 1065–1082, June 2014.
- [3] F. Boccardi, R. W. Heath, and et al, "Five disruptive technology directions for 5g," *IEEE Communications Magazine*, vol. 52, no. 2, pp. 74–80, February 2014.
- [4] T. S. Rappaport and et al, "Millimeter wave mobile communications for 5g cellular: It will work!" *IEEE Access*, vol. 1, pp. 335–349, 2013.
- [5] S. A. Busari and et al, "Millimeter-wave massive mimo communication for future wireless systems: A survey," *IEEE Communications Surveys Tutorials*, vol. 20, no. 2, pp. 836–869, Second quarter 2018.
- [6] R. W. Heath, N. González-Prelcic, and et al, "An overview of signal processing techniques for millimeter wave mimo systems," *IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing*, vol. 10, no. 3, pp. 436–453, April 2016.
- [7] M. Alkhaled, E. Alsusa, and W. Pramudito, "Adaptive user group-ing algorithm for the downlink massive mimo systems," in *2016 IEEE Wireless Communications and Networking Conference*, April (2016), pp. 1–6.
- [8] J. Wang, Z. Lan, C. woo Pyo, T. Baykas, C. sean Sum, M. Rahman, J. Gao, R. Funada, F. Kojima, H. Harada, and S. Kato, "Beam codebook based beamforming protocol for multi-gbps millimeter- wave wpan systems," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 27, no. 8, pp. 1390–1399, 2009.
- [9] L. Chen, Y. Yang, X. Chen, and W. Wang, "Multi-stage beam-forming codebook for 60ghz wpan," in *2011 6th International ICST Conference on Communications and Networking in China (CHINACOM)*, 2011, pp. 361–365.
- [10] S. Hur, T. Kim, D. J. Love, J. V. Krogmeier, T. A. Thomas, and A. Ghosh, "Millimeter wave beamforming for wireless backhaul and access in small cell networks," *IEEE Transactions on Communications*, vol. 61, no. 10, pp. 4391–4403, 2013.
- [11] V. Venkateswaran and A.-J. van der Veen, "Analog beamforming in mimo communications with phase shift networks and online channel estimation," *IEEE Transactions on Signal Processing*, vol. 58, no. 8, pp. 4131–4143, 2010.
- [12] O. E. Ayach, S. Rajagopal, and et al, "Spatially sparse precoding in millimeter wave mimo systems," *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 13, no. 3, pp. 1499–1513, March 2014.
- [13] A. Alkhateeb, O. El Ayach, and et al, "Channel estimation and hybrid precoding for millimeter wave cellular systems," *IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing*, vol. 8, no. 5, pp. 831–846, Oct 2014.
- [14] J. Hogan and A. Sayeed, "Beam selection for performance-complexity optimization in high-dimensional mimo systems," in *2016 Annual Conference on Information Science and Systems (CISS)*, 2016, pp. 337–342.
- [15] L. Chen, Y. Yang, X. Chen, and W. Wang, "Multi-stage beam-forming codebook for 60ghz wpan," in *2011 6th International ICST Conference on Communications and Networking in China (CHINACOM)*, 2011, pp. 361–365.
- [16] T. S. Rappaport, F. Gutierrez, and et al, "Broadband millimeter-wave propagation measurements and models using adaptive-beam antennas for outdoor urban cellular communications," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 61, no. 4, pp. 1850–1859, April 2013.
- [17] A. M. Sayeed, "Deconstructing multiantenna fading channels," *IEEE Transactions on Signal Processing*, vol. 50, no. 10, pp. 2563–2579, Oct 2002.
- [18] J. Brady, N. Behdad, and A. M. Sayeed, "Beamspace mimo for millimeter-wave communications: System architecture, modeling, analysis, and measurements," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 61, no. 7, pp. 3814–3827, July 2013.
- [19] P. Xia, S. Yong, and et al, "A practical sdma protocol for 60ghz millimeter wave communications," in *2008 42nd Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers*, Oct (2008), pp. 2019–2023.
- [20] A. Alkhateeb, G. Leus, and R. W. Heath, "Limited feedback hybrid precoding for multi-user millimeter wave systems," *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 14, no. 11, pp. 6481–6494, Nov 2015.
- [21] L. D. S. Mumtaz, J. Rodriguez, Ed., *mmWave Massive MIMO A Paradigm for 5G*. Elsevier, (2017).

A SURVEY OF CHANNEL ESTIMATION FOR MMWAVE SYSTEM

Abstract: mmWave wireless systems bring the speed of gigabit/s for subscribers. To achieve this speed, mmWave systems use a very large number of antennas at both the sender and the receiver. The high cost of RF chains leads to the use of hybrid precoding in mmWave systems. Another issue of very number of antennas also makes difficult to estimate the channel state information. A lot of research to study on channel estimation in mmWave systems. In this paper, we surveyed these channel estimation schemes in the last decade. Based on the survey results, we propose open research direction. We hope that this work will make a strong motivation in the field of channel estimation in mmWave systems.

Keywords: Massive MIMO, mmWave, channel estimation.



Phạm Hùng tốt nghiệp đại học Bách Khoa Hà nội (HUST) năm 2004. Nhận bằng thạc sĩ kỹ thuật điện tử tại Trường Dongguk ở Hàn Quốc năm 2011 với luận án về kỹ thuật lập lịch cho mạng LTE. Hiện là nghiên cứu sinh tại khoa Viễn thông 1, Học viện Công nghệ Bưu chính Viễn thông (PTIT). Hướng nghiên cứu chủ yếu về kỹ thuật lập lịch cho mạng Massive MIMO và mmWave.



Đặng Hoài Bắc nhận bằng thạc sĩ và tiến sĩ tại Học viện Công nghệ Bưu chính Viễn thông (PTIT) năm 2004 và 2010. Từ 2009 đến 2010, là nghiên cứu viên tại phòng thí nghiệm Orange, Paris, Pháp. Hiện nay, là phó giáo sư và hiệu phó tại Học viện Công nghệ Bưu chính Viễn thông. Lĩnh vực nghiên cứu là: điều khiển tự động, xử lý tín hiệu, các hệ thống nhúng và tích hợp hệ thống.



Nguyễn Tiến Ban nhận bằng tiến sĩ tại Đại học Xanh Petecbua (SUT), Liên bang Nga năm 2003. Hiện là phó giáo sư của khoa Viễn thông 1, Học viện Công nghệ Bưu chính Viễn thông. Lĩnh vực nghiên cứu: thiết kế và phân tích hiệu năng mạng, thiết kế và tối ưu mạng, mô phỏng các hệ thống viễn thông.