



(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)



1-0026521

(51)⁸ H04L 25/02; H04L 27/26

(13) B

(21) 1-2018-03441

(22) 06/08/2018

(45) 25/12/2020 393

(43) 25/10/2018 367A

(73) TẬP ĐOÀN CÔNG NGHIỆP - VIỄN THÔNG QUÂN ĐỘI (VIETTEL) (VN)

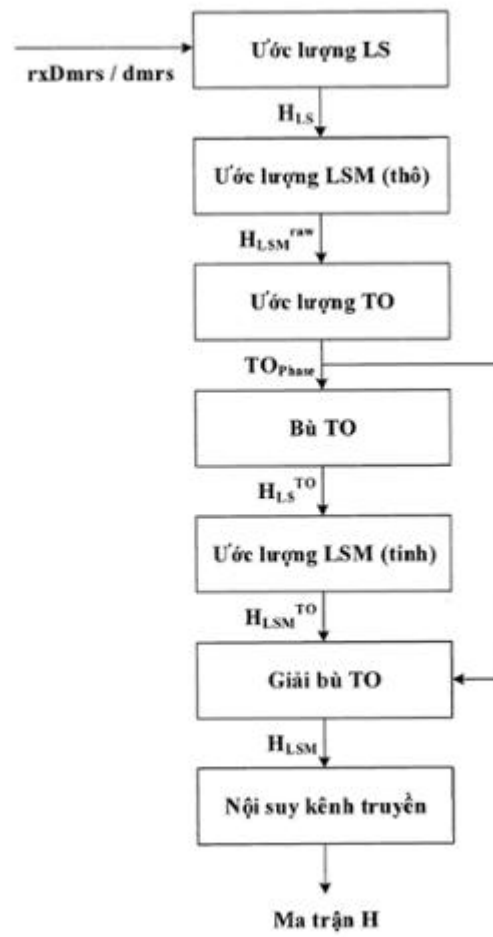
Số 1 Trần Hữu Dực, Mỹ Đình 2, Nam Từ Liêm, Hà Nội

(72) Huỳnh Quốc Anh (VN); Phạm Văn Thỏa (VN); Hồ Thị Xuân Hòa (VN); Nguyễn Trung Tiến (VN); Lương Xuân Hào (VN); Hoàng Đình Hải Truyền (VN); Vũ Tuấn Đức (VN); Lê Trường Giang (VN); Phan Thanh Trung (VN).

(74) Công ty Luật TNHH quốc tế BMVN (BMVN INTERNATIONAL LLC)

(54) PHƯƠNG PHÁP ƯỚC LƯỢNG KÊNH ĐƯỜNG LÊN DỰA TRÊN ỨNG DỤNG LỌC BÌNH PHƯƠNG TỐI THIỂU TRUNG BÌNH TRONG HỆ THỐNG MẠNG DI ĐỘNG THỂ HỆ THỨ TƯ

(57) Sáng chế đề xuất phương pháp ước lượng kênh đường lên dựa trên ứng dụng lọc bình phương tối thiểu trung bình (Least Square Mean - LSM) bao gồm các bước i) ước lượng thô LS; ii) ước lượng thô LSM để loại bỏ một phần nhiễu Gauss; iii) ước lượng độ trễ thời gian (Timing Offset - TO) để xác định độ trễ kênh truyền; iv) bù TO vào kênh truyền để ước lượng lại chính xác kênh truyền; v) ước lượng LSM tinh; vi) giải bù TO nhằm bù trừ lẫn nhau với tín hiệu thu và kênh truyền ước lượng được; và vii) nội suy kênh truyền.



Lĩnh vực kỹ thuật được đề cập

Sáng chế liên quan đến phương pháp ước lượng kênh đường lên (uplink) dựa trên ứng dụng lọc bình phương tối thiểu trung bình (Least Square Mean - LSM) trong hệ thống mạng di động thế hệ thứ 4 (4th Generation Long Term Evolution - 4G LTE).

Tình trạng kỹ thuật của sáng chế

Tuyến thu từ thiết bị đầu cuối đến trạm thu phát gốc đóng vai trò quan trọng trong việc mang thông tin nhằm kết nối giữa người dùng và nhà mạng, đặc biệt là kênh chia sẻ đường lên vật lý (Physical Uplink Shared Channel - PUSCH). Tuy nhiên, trong môi trường ứng dụng thực tế mà điển hình là môi trường đô thị có mật độ dân số cao, kênh truyền vô tuyến là vô cùng phức tạp vì có sự ảnh hưởng của rất nhiều yếu tố khác nhau. Ví dụ, các yếu tố này là sự ô nhiễm môi trường, sự che chắn đường đi của sóng vô tuyến bởi các tòa nhà cao tầng, các loại nhiễu gây ra bởi rất nhiều hệ thống khác nhau. Đặc biệt là với mật độ người dùng rất cao và ngày càng tăng lên về số lượng như hiện nay. Hơn nữa, các hệ thống luôn luôn phải chịu ảnh hưởng của nhiệt độ, áp suất, thời gian hoạt động lâu dài và thường xuyên. Tất cả các yếu tố nêu trên làm phát sinh kênh truyền đa đường gây ảnh hưởng đến hệ thống. Kênh truyền đa đường này thay đổi liên tục và không thể dễ dàng dự báo trước.

Các phương pháp ước lượng kênh đường lên đã biết như phương pháp bình phương tối thiểu (Least Square - LS), đã tạo ra bộ ước lượng kênh hiệu quả để khắc phục các yếu tố ảnh hưởng đến kênh truyền và nhiễu. Tuy nhiên, nhằm tối ưu hóa hiệu năng của kênh truyền, các tác giả sáng chế đã tiến hành thử nghiệm và tìm ra phương pháp mới để ước lượng kênh truyền đường lên có hiệu quả hơn và đảm bảo nâng cao hiệu năng so với các phương pháp đã biết trên cùng một nền tảng bộ cân bằng lỗi bình phương trung bình tối thiểu (Minimum Mean Square Error - MMSE) sẵn có.

Bản chất kỹ thuật của sáng chế

Mục đích của sáng chế là đề xuất phương pháp ước lượng kênh đường lên dựa trên ứng dụng lọc bình phương tối thiểu trung bình (Least Square Mean - LSM) nhằm đảm bảo kênh truyền được ước lượng gần giống nhất với thực tế ứng với từng mô hình khác nhau để phục vụ cho việc cân bằng và giải mã kênh, đảm bảo giảm thiểu tỉ lệ lỗi và nâng cao chất lượng cũng như dung lượng của hệ thống một cách tối đa.

Để đạt được mục đích nêu trên, sáng chế đề xuất phương pháp ước lượng kênh đường lên dựa trên ứng dụng lọc bình phương tối thiểu trung bình (Least Square Mean - LSM)

trong hệ thống mạng di động thế hệ thứ 4 (4th Generation Long Term Evolution - 4G LTE), hay còn gọi là phương pháp ước lượng kênh đường lên LSM, bao gồm các bước sau:

i) thực hiện ước lượng thô bình phương tối thiểu (Least Square - LS) theo công thức (1) sau đây:

$$H_{LS}(sc, s) = rxDmrs(sc, s) \times dmrs(sc, s)^H \times [dmrs(sc, s) \times dmrs(sc, s)^H]^{-1} \quad (1)$$

trong đó:

- $H_{LS}(sc, s)$ là ma trận kênh truyền LS tại sóng mang con sc và khe s ($N_{RX} \times N_{TX}$);
 - $rxDmrs(sc, s)$ là vectơ $dmrs$ thu được tại sóng mang con sc và khe s ($N_{RX} \times 1$);
 - $dmrs(sc, s)$ là vectơ $dmrs$ đã biết trước tại sóng mang con sc và khe s ($N_{TX} \times 1$);
 - N_{RX} là số ăng ten thu;
 - N_{TX} là số ăng ten phát;
 - $sc = sc_0 \rightarrow sc_{end}$;
 - sc_0 là giá trị của sóng mang con đầu tiên cấp phát cho thiết bị đầu cuối;
 - sc_{end} là giá trị của sóng mang con cuối cùng cấp phát cho thiết bị đầu cuối; và
- $$sc_{end} - sc = M_{SC}^{PUSCH} - 1;$$
- M_{SC}^{PUSCH} là số lượng sóng mang con cấp phát cho thiết bị đầu cuối; và
 - $s = 0$ hoặc 1 ;

ii) ước lượng LSM thô, trong đó bộ lọc trung bình được thực hiện theo công thức (2) sau đây(2):

$$H_{LSM}^{raw}(sc, s) = \begin{cases} \frac{\sum_{i=sc_0}^{sc+\lfloor \frac{M_W}{2} \rfloor} H_{LS}(i, s)}{sc - sc_0 + \lfloor \frac{M_W}{2} \rfloor}, & sc < sc_0 + \lfloor \frac{M_W}{2} \rfloor \\ \frac{\sum_{i=sc-\lfloor \frac{M_W}{2} \rfloor}^{sc+\lfloor \frac{M_W}{2} \rfloor} H_{LS}(i, s)}{M_W}, & sc_0 + \lfloor \frac{M_W}{2} \rfloor \leq sc \leq sc_{end} - \lfloor \frac{M_W}{2} \rfloor \\ \frac{\sum_{i=sc-\lfloor \frac{M_W}{2} \rfloor}^{sc_{end}} H_{LS}(i, s)}{sc_{end} - sc + \lfloor \frac{M_W}{2} \rfloor}, & sc > sc_{end} - \lfloor \frac{M_W}{2} \rfloor \end{cases} \quad (2)$$

trong đó:

- $H_{LSM}^{raw}(sc, s)$ là ma trận kênh truyền LS sau khi lọc nhiễu tại sóng mang con sc và khe s ($N_{RX} \times N_{TX}$); và
- M_W là chiều dài bộ lọc trung bình;

iii) ước lượng độ trễ thời gian (Timing Offset - TO) theo công thức (3) và (4) sau đây:

$$TO(s) = \frac{1}{2\pi} \angle \text{trace} \left[\sum_{i=sc_0}^{sc_{\text{end}}-1} H_{\text{LSM}}^{\text{raw}}(i, s)^H \times H_{\text{LSM}}^{\text{raw}}(i+1, s) \right] \quad (3)$$

$$TO_{\text{Phase}}(s) = \exp[-j2\pi TO(s)] \quad (4)$$

trong đó:

- $TO(s)$ là độ lệch thời gian tại khe s để báo cáo lên các lớp trên; và
- $TO_{\text{Phase}}(s)$ là độ lệch pha kênh truyền giữa hai sóng mang con lân cận tại khe s ;

iv) bù TO vào kênh truyền ước lượng LS theo công thức (5) sau đây:

$$H_{\text{LS}}^{\text{TO}}(sc, s) = H_{\text{LS}}(sc, s) TO_{\text{Phase}}^{sc-sc_0}(s) = H_{\text{LS}}(sc, s) \exp[-j2\pi TO(s)(sc - sc_0)] \quad (5)$$

trong đó:

- $H_{\text{LS}}^{\text{TO}}(sc, s)$ là ma trận kênh truyền LS sau khi bù TO tại sóng mang con sc và khe s ($N_{\text{RX}} \times N_{\text{TX}}$); và
- $TO_{\text{Phase}}^{sc-sc_0}(s)$ là độ lệch pha kênh truyền giữa sóng mang con sc so với sóng mang đầu tiên cấp phát cho thiết bị đầu cuối tại khe s ;

v) ước lượng LSM tinh theo công thức (6) sau đây:

$$H_{\text{LSM}}^{\text{TO}}(sc, s) = \begin{cases} \frac{\sum_{i=sc_0}^{sc+\left\lfloor \frac{M_W}{2} \right\rfloor} H_{\text{LS}}^{\text{TO}}(i, s)}{sc - sc_0 + \left\lfloor \frac{M_W}{2} \right\rfloor}, & sc < sc_0 + \left\lfloor \frac{M_W}{2} \right\rfloor \\ \frac{\sum_{i=sc-\left\lfloor \frac{M_W}{2} \right\rfloor}^{sc+\left\lfloor \frac{M_W}{2} \right\rfloor} H_{\text{LS}}^{\text{TO}}(i, s)}{M_W}, & sc_0 + \left\lfloor \frac{M_W}{2} \right\rfloor \leq sc \leq sc_{\text{end}} - \left\lfloor \frac{M_W}{2} \right\rfloor \\ \frac{\sum_{i=sc-\left\lfloor \frac{M_W}{2} \right\rfloor}^{sc_{\text{end}}} H_{\text{LS}}^{\text{TO}}(i, s)}{sc_{\text{end}} - sc + \left\lfloor \frac{M_W}{2} \right\rfloor}, & sc > sc_{\text{end}} - \left\lfloor \frac{M_W}{2} \right\rfloor \end{cases} \quad (6)$$

trong đó:

- $H_{\text{LSM}}^{\text{TO}}(sc, s)$ là ma trận kênh truyền LS sau khi bù TO đã được lọc nhiễu tại sóng mang con sc và khe s ($N_{\text{RX}} \times N_{\text{TX}}$);

vi) giải bù TO theo công thức (7) sau đây:

$$H_{\text{LSM}}(sc, s) = \frac{H_{\text{LSM}}^{\text{TO}}(sc, s)}{TO_{\text{Phase}}^{sc-sc_0}(s)} = H_{\text{LSM}}^{\text{TO}}(sc, s) \exp[j2\pi TO(s)(sc - sc_0)] \quad (7)$$

trong đó:

- $H_{LSM}(sc, s)$ là ma trận kênh truyền LSM cần tìm của dmrs tại sóng mang con sc và khe s ($N_{RX} \times N_{TX}$);

vii) nội suy kênh truyền bằng cách sử dụng kỹ thuật nội suy tuyến tính cho 12 ký hiệu còn lại trong lưới tài nguyên theo công thức (8) sau đây:

$$H(sc, k) = K_H(k, 0) \times H_{LSM}(sc, 0) + K_H(k, 1) \times H_{LSM}(sc, 1) \quad (8)$$

trong đó:

- $H(sc, k)$ là ma trận kênh truyền được nội suy ra tại sóng mang con sc và ký hiệu k ($N_{RX} \times N_{TX}$);
- $K_H(k, s)$ là hệ số nội suy kênh truyền cho ký hiệu thứ k ứng với ma trận kênh truyền LSM ở khe s ; và
- $k = 0, 1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 11, 12, 13$; việc lựa chọn các hệ số $K_H(k, s)$ cho từng ký hiệu phụ thuộc vào vị trí của ký hiệu trong lưới tài nguyên, kiểu điều chế và băng thông hệ thống;

Mô tả vắn tắt các hình vẽ

Hình 1 là lưu đồ thể hiện phương pháp ước lượng kênh đường lên LSM theo sáng chế.

Hình 2 là hình vẽ thể hiện cấu trúc dữ liệu đầu vào của phương pháp ước lượng kênh đường lên LSM theo sáng chế.

Hình 3 là hình vẽ thể hiện cấu trúc dữ liệu đầu ra của phương pháp ước lượng kênh đường lên LSM theo sáng chế.

Mô tả chi tiết sáng chế

Cách thức thực hiện của phương pháp ước lượng kênh đường lên LSM theo sáng chế là dùng các phương pháp toán học và xác suất thống kê để tìm ra kênh truyền phù hợp nhất tại một thời điểm nào đó. Trong quá trình thực hiện, các tác giả sáng chế đã sử dụng các công thức toán học cơ bản như đại số tuyến tính (ma trận), giải tích, xác suất thống kê,...

Bên cạnh đó, các tác giả sáng chế cũng mô phỏng lại phương pháp ước lượng kênh truyền đường lên LSM theo sáng chế trên môi trường giả lập có thông số đầu vào được lấy từ cả môi trường giả lập và môi trường thực tế dựa trên rất nhiều cấu hình khác nhau nhằm mô phỏng lại giống với môi trường thực tế nhất. Mô phỏng là bước rất quan trọng để phát triển phương pháp theo sáng chế một cách nhanh chóng trước khi đưa ra môi trường thực tế.

Cuối cùng, phương pháp theo sáng chế được áp dụng lên mạch xử lý tín hiệu số (Digital Signal Processing - DSP) để cho thấy sự hiệu quả so với các phương pháp đã biết.

Phương pháp ước lượng kênh đường lên dựa trên lọc bình phương tối thiểu trung bình (Least Square Mean - LSM) được phát triển dựa trên phương pháp ước lượng kênh cơ bản LS đã biết trong lĩnh vực kỹ thuật này. Nguyên tắc cơ bản của phương pháp ước lượng kênh đường lên LSM là dùng bộ lọc trung bình để khử nhiễu cùng với các kỹ thuật đánh giá bản chất của các kênh truyền như độ trễ thời gian (Timing Offset - TO), độ lệch tần số (Frequency Offset - FO), chỉ số cường độ tín hiệu thu (Received Signal Strength Indication - RSSI), nhiễu và can nhiễu (Noise Plus Interference - NPI), tỉ số công suất tín hiệu trên nhiễu và can nhiễu (Signal to Interference and Noise Ratio - SINR) dựa vào tín hiệu thu và tín hiệu dẫn đường (Demodulation Reference Signal - DMRS) đã biết trước. Từ đó, có thể tính toán và nội suy ra các hệ số kênh truyền và ma trận hiệp phương sai của nhiễu. Hệ số kênh truyền và nhiễu được ước lượng càng chính xác thì bộ cân bằng giải mã càng tốt và hiệu năng hệ thống càng cao.

Hình 1 là lưu đồ thể hiện các bước của phương pháp ước lượng kênh đường lên LSM được thực hiện lần lượt theo từng khung con. Cụ thể, phương pháp theo sáng chế bao gồm các bước sau:

Bước 1: Ước lượng thô LS

Quá trình ước lượng thô LS được thực hiện theo công thức (1) sau đây:

$$H_{LS}(sc, s) = rxDmrs(sc, s) \times dmrs(sc, s)^H \times [dmrs(sc, s) \times dmrs(sc, s)^H]^{-1} \quad (1)$$

Trong đó:

- $H_{LS}(sc, s)$ là ma trận kênh truyền LS tại sóng mang con sc và khe s ($N_{RX} \times N_{TX}$);
 - $rxDmrs(sc, s)$ là vectơ dmrs thu được tại sóng mang con sc và khe s ($N_{RX} \times 1$);
 - $dmrs(sc, s)$ là vectơ dmrs đã biết trước tại sóng mang con sc và khe s ($N_{TX} \times 1$);
 - N_{RX} là số ăng ten thu;
 - N_{TX} là số ăng ten phát;
 - $sc = sc_0 \rightarrow sc_{end}$;
 - sc_0 là giá trị của sóng mang con đầu tiên cấp phát cho thiết bị đầu cuối;
 - sc_{end} là giá trị của sóng mang con cuối cùng cấp phát cho thiết bị đầu cuối; và
- $$sc_{end} - sc = M_{SC}^{PUSCH} - 1;$$
- M_{SC}^{PUSCH} là số lượng sóng mang con cấp phát cho thiết bị đầu cuối; và
 - $s = 0$ hoặc 1 ;

Bước 2: Ước lượng LSM thô

Do ma trận kênh truyền thô bị ảnh hưởng bởi nhiễu và chủ yếu là nhiễu có phân bố Gauss, nên cần có một bộ lọc trung bình để khử nhiễu vì nhiễu Gauss có kỳ vọng tập trung về 0. Bộ lọc trung bình được thực hiện theo công thức (2) sau đây:

$$H_{LSM}^{raw}(sc, s) = \begin{cases} \frac{\sum_{i=sc_0}^{sc+\lfloor \frac{M_W}{2} \rfloor} H_{LS}(i, s)}{sc - sc_0 + \lfloor \frac{M_W}{2} \rfloor}, & sc < sc_0 + \lfloor \frac{M_W}{2} \rfloor \\ \frac{\sum_{i=sc-\lfloor \frac{M_W}{2} \rfloor}^{sc+\lfloor \frac{M_W}{2} \rfloor} H_{LS}(i, s)}{M_W}, & sc_0 + \lfloor \frac{M_W}{2} \rfloor \leq sc \leq sc_{end} - \lfloor \frac{M_W}{2} \rfloor \\ \frac{\sum_{i=sc-\lfloor \frac{M_W}{2} \rfloor}^{sc_{end}} H_{LS}(i, s)}{sc_{end} - sc + \lfloor \frac{M_W}{2} \rfloor}, & sc > sc_{end} - \lfloor \frac{M_W}{2} \rfloor \end{cases} \quad (2)$$

Trong đó:

- $H_{LSM}^{raw}(sc, s)$ là ma trận kênh truyền LS sau khi lọc nhiễu tại sóng mang con sc và khe s ($N_{RX} \times N_{TX}$); và
- M_W là chiều dài bộ lọc trung bình, qua quá trình thống kê dựa vào các bộ thử nghiệm khác nhau được mô tả trong Chương 8 của tài liệu “3GPP TS 36.104: Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Base Station (BS) radio transmission and reception”, các tác giả sáng chế tìm được các giá trị phù hợp nhất ứng với mỗi kiểu điều chế, băng thông và số lượng khối tài nguyên (Resource Block - RB) cấp phát cho thiết bị đầu cuối để đạt được hiệu năng tổng thể cao nhất. Thông số chi tiết cho chiều dài bộ lọc M_W sẽ được chỉ ra trong phần Ví dụ thực hiện sáng chế;

Bước 3: Ước lượng độ trễ thời gian (Timing Offset - TO)

TO cho biết độ trễ của tín hiệu so với thời điểm tiếp nhận mong muốn của bộ thu do sự ảnh hưởng của kênh truyền. Khi ước lượng được TO thích hợp, sẽ dễ dàng đồng bộ tín hiệu và tránh gây ra sai lệch, đặc biệt là đối với hệ thống nhạy cảm với trễ như hệ thống ghép kênh phân chia theo tần số trực giao (Orthogonal Frequency Division Multiplexing - OFDM). Ước lượng TO được thực hiện theo công thức (3) và (4) sau đây:

$$TO(s) = \frac{1}{2\pi} \angle \text{trace} \left[\sum_{i=sc_0}^{sc_{end}-1} H_{LSM}^{raw}(i, s)^H \times H_{LSM}^{raw}(i+1, s) \right] \quad (3)$$

$$TO_{Phase}(s) = \exp[-j2\pi TO(s)] \quad (4)$$

Trong đó:

- $TO(s)$ là độ lệch thời gian tại khe s để báo cáo lên các lớp trên; và
- $TO_{Phase}(s)$ là độ lệch pha kênh truyền giữa hai sóng mang con lân cận tại khe s ;

Bước 4: Bù TO

Sau ước lượng kênh truyền LS, kênh truyền bị ảnh hưởng bởi TO nên việc ước lượng LSM thô như nêu trên sẽ không chính xác mà chỉ là giải pháp gần đúng để phục vụ cho ước lượng TO. Để kênh truyền chính xác hơn, cần thực hiện bù TO.

Độ lệch pha kênh truyền giữa hai sóng mang con lân cận là TO_{Phase} . Do đó, độ lệch pha kênh truyền giữa hai sóng mang con sc và sc_0 (với $sc > sc_0$) là $TO_{\text{Phase}}^{sc-sc_0}$. Kênh truyền ước lượng LS sau khi bù TO có được theo công thức (5) sau đây:

$$H_{LS}^{TO}(sc, s) = H_{LS}(sc, s) TO_{\text{Phase}}^{sc-sc_0}(s) = H_{LS}(sc, s) \exp[-j2\pi TO(s)(sc - sc_0)] \quad (5)$$

Trong đó:

- $H_{LS}^{TO}(sc, s)$ là ma trận kênh truyền LS sau khi bù TO tại sóng mang con sc và khe s ($N_{RX} \times N_{TX}$); và
- $TO_{\text{Phase}}^{sc-sc_0}(s)$ là độ lệch pha kênh truyền giữa sóng mang con sc so với sóng mang đầu tiên cấp phát cho thiết bị đầu cuối tại khe s ;

Bước 5: Ước lượng LSM tinh.

Sau khi bù TO vào ma trận kênh truyền LS, tiến hành thực hiện lại lọc nhiễu bằng bộ lọc trung bình. Lúc này, kênh truyền ước lượng sẽ chính xác hơn rất nhiều. Quá trình ước lượng LSM tinh được thực hiện theo công thức (6) sau đây:

$$H_{LSM}^{TO}(sc, s) = \begin{cases} \frac{\sum_{i=sc_0}^{sc+\lfloor \frac{M_W}{2} \rfloor} H_{LS}^{TO}(i, s)}{sc - sc_0 + \lfloor \frac{M_W}{2} \rfloor}, & sc < sc_0 + \lfloor \frac{M_W}{2} \rfloor \\ \frac{\sum_{i=sc-\lfloor \frac{M_W}{2} \rfloor}^{sc+\lfloor \frac{M_W}{2} \rfloor} H_{LS}^{TO}(i, s)}{M_W}, & sc_0 + \lfloor \frac{M_W}{2} \rfloor \leq sc \leq sc_{\text{end}} - \lfloor \frac{M_W}{2} \rfloor \\ \frac{\sum_{i=sc-\lfloor \frac{M_W}{2} \rfloor}^{sc_{\text{end}}} H_{LS}^{TO}(i, s)}{sc_{\text{end}} - sc + \lfloor \frac{M_W}{2} \rfloor}, & sc > sc_{\text{end}} - \lfloor \frac{M_W}{2} \rfloor \end{cases} \quad (5)$$

Trong đó:

- $H_{LSM}^{TO}(sc, s)$ là ma trận kênh truyền LS sau khi bù TO đã được lọc nhiễu tại sóng mang con sc và khe s ($N_{RX} \times N_{TX}$);

Bước 6: Giải bù TO.

Do ma trận thu được (ma trận cần giải mã) đã bị ảnh hưởng của TO, nên ma trận kênh truyền cũng phải nhân với hệ số TO tương ứng để triệt tiêu TO lẫn nhau nhằm giúp quá trình cân bằng được chính xác. Giải bù TO được thực hiện theo công thức (7) sau đây:

$$H_{\text{LSM}}(sc, s) = \frac{H_{\text{LSM}}^{\text{TO}}(sc, s)}{\text{TO}_{\text{Phase}}^{sc-sc_0}(s)} = H_{\text{LSM}}^{\text{TO}}(sc, s) \exp[j2\pi\text{TO}(s)(sc - sc_0)] \quad (7)$$

Trong đó:

- $H_{\text{LSM}}(sc, s)$ là ma trận kênh truyền LSM cần tìm của dmrs tại sóng mang con sc và khe s ($N_{\text{RX}} \times N_{\text{TX}}$);

Bước 7: Nội suy kênh truyền.

Sau khi đã có được ma trận kênh truyền ước lượng ở 2 ký hiệu dmrs. Sử dụng kỹ thuật nội suy tuyến tính cho 12 ký hiệu còn lại trong lưới tài nguyên theo công thức (8) sau đây:

$$H(sc, k) = K_H(k, 0) \times H_{\text{LSM}}(sc, 0) + K_H(k, 1) \times H_{\text{LSM}}(sc, 1) \quad (8)$$

Trong đó:

- $H(sc, k)$ là ma trận kênh truyền được nội suy ra tại sóng mang con sc và ký hiệu k ($N_{\text{RX}} \times N_{\text{TX}}$);
- $K_H(k, s)$ là hệ số nội suy kênh truyền cho ký hiệu thứ k ứng với ma trận kênh truyền LSM ở khe s ; và
- $k = 0, 1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 11, 12, 13$;

Việc lựa chọn các hệ số $K_H(k, s)$ cho từng ký hiệu phụ thuộc vào vị trí của ký hiệu trong lưới tài nguyên, kiểu điều chế và băng thông hệ thống. Qua quá trình thống kê dựa vào các bộ thử nghiệm khác nhau được mô tả trong Chương 8 của tài liệu “3GPP TS 36.104: Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Base Station (BS) radio transmission and reception”, các tác giả đã tìm được các bộ hệ số $K_H(k, s)$ phù hợp nhất ứng với mỗi kiểu điều chế và băng thông hệ thống. Thông số chi tiết của bộ hệ số $K_H(k, s)$ sẽ được chỉ ra trong phần Ví dụ thực hiện sáng chế.

Hình 2 mô tả cấu trúc dữ liệu đầu vào sử dụng cho phương pháp ước lượng kênh LSM theo sáng chế. Ứng với mỗi khung con, truyền tín hiệu trên N_{TX} ăng ten phát và thu được tín hiệu trên N_{RX} ăng ten thu. Đầu thu sử dụng tín hiệu tại N_{RX} ăng ten thu này để thực hiện giải mã tín hiệu phát. Trong đó, khối ước lượng kênh sử dụng tín hiệu DMRS thu được trên mỗi ăng ten (tín hiệu ở ký hiệu (symbol) số 3 và số 10) để sử dụng làm đầu vào.

Bên cạnh đó, để ước lượng được kênh truyền thì cần thêm tín hiệu nguyên thủy của DMRS ở đầu phát, và tín hiệu này được tạo ra dựa vào các thông số đã biết trước như chỉ số định danh tạm thời mạng vô tuyến (Radio Network Temporary Identifier - RNTI), số hiệu định danh của trạm thu phát gốc (Number of Cell Identifier - NcellID),...

Sau khi thực hiện phương pháp ước lượng kênh theo sáng chế, có thể ước lượng được ma trận kênh truyền H có kích thước $N_{RX} \times N_{TX}$ tại mỗi điểm trong tất cả các điểm của lưới tài nguyên. Kênh truyền cho tất cả các điểm này được nội suy ra từ H_{LSM} (kênh truyền của tín hiệu DMRS). Cấu trúc dữ liệu đầu ra của khối ước lượng LSM được mô tả trong Hình 3.

Ví dụ thực hiện sáng chế

Các tác giả sáng chế đã thiết lập mô hình thử nghiệm phương pháp theo sáng chế với các thông số cấu hình thu được qua quá trình tối ưu hóa. Phương pháp theo sáng chế được thực hiện trên mô hình có sốăng ten phát là 1 và sốăng ten thu là 2.

Các thông số cấu hình kích thước bộ lọc (bước 2 và bước 5) được thể hiện trong Bảng 1 dưới đây:

Bảng 1: Kích thước bộ lọc trung bình

Kiểu điều chế	Số RB cấp phát cho thiết bị đầu cuối		
	1	2	>2
QPSK	13	25	31
16QAM	13	13	13
64QAM	9	9	13

Các hệ số nội suy kênh truyền (bước 7) được thể hiện trong Bảng 2 dưới đây:

Bảng 2: Hệ số nội suy kênh truyền

$K_H(k, s)$	Ký hiệu (k)											
	0	1	2	3	5	6	7	8	9	11	12	13
$K_H(k, 0)$	$\frac{27}{28}$	$\frac{25}{28}$	$\frac{23}{28}$	$\frac{19}{28}$	$\frac{17}{28}$	$\frac{15}{28}$	$\frac{13}{28}$	$\frac{11}{28}$	$\frac{9}{28}$	$\frac{5}{28}$	$\frac{3}{28}$	$\frac{1}{28}$
$K_H(k, 1)$	$\frac{1}{28}$	$\frac{3}{28}$	$\frac{5}{28}$	$\frac{9}{28}$	$\frac{11}{28}$	$\frac{13}{28}$	$\frac{15}{28}$	$\frac{17}{28}$	$\frac{19}{28}$	$\frac{23}{28}$	$\frac{25}{28}$	$\frac{27}{28}$

Các bộ thử nghiệm để kiểm tra phương pháp theo sáng chế được mô tả trong Bảng 3 và được tạo ra dựa vào phần mô tả trong Chương 8 của tài liệu “3GPP TS 36.104: Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Base Station (BS) radio transmission and reception”.

Bảng 3: Các thông số của bộ thử nghiệm kiểm tra.

Băng thông (MHz)	Trường hợp	Cấu hình				SNR (dB)	
		FRC	Tài nguyên cấp phát (RB)	MCS	Đặc tính kênh truyền	Chuẩn 30%	Chuẩn 70%
5	0	A3-4	25	5	EPA-5Hz	-4,7	-0,7
	1	A4-1	1	20	EVA-5Hz	4,3	11,5
	2	A5-1	1	28	EVA-5Hz	x	18,6
	3	A4-5	25	20	EVA-70Hz	4,3	12,3
	4	A3-1	1	7	ETU-70Hz	-2,5	2,4
	5	A3-1	1	7	ETU-300Hz	-2,2	2,9
10	0	A3-5	50	6	EPA-5Hz	-4,2	-0,4
	1	A3-5	50	6	EVA-70Hz	-4,1	0,1
	2	A4-1	1	20	EVA-5Hz	4,3	11,4
	3	A4-6	50	20	EVA-70Hz	4,5	12,6
	4	A3-1	1	7	ETU-70Hz	-2,5	2,4
	5	A3-1	1	7	ETU-300Hz	-2,2	2,9
15	0	A3-6	75	5	EVA-70Hz	-4,5	-0,3
	1	A4-1	1	20	EVA-5Hz	4,2	11,4
	2	A4-7	75	20	EVA-70Hz	4,2	12,9
	3	A4-7	75	20	EPA-5Hz	X	11,3
	4	A3-1	1	7	ETU-70Hz	-2,5	2,4
	5	A3-1	1	7	ETU-300Hz	-2,2	2,9
	6	A5-6	75	28	EPA-5Hz	X	18,8
20	0	A3-1	1	7	EVA-5Hz	-2,7	1,8
	1	A3-1	1	7	ETU-70Hz	-2,4	2,4
	2	A3-1	1	7	ETU-300Hz	-2,1	2,9
	3	A3-7	100	6	EVA-70Hz	-4,1	0,2
	4	A3-7	100	6	EPA-5Hz	-4,2	-4,0
	5	A4-1	1	20	EVA-5Hz	4,3	1,2

Băng thông (MHz)	Trường hợp	Cấu hình				SNR (dB)	
		FRC	Tài nguyên cấp phát (RB)	MCS	Đặc tính kênh truyền	Chuẩn 30%	Chuẩn 70%
	6	A4-8	100	20	EVA-70Hz	4,2	13,0
	7	A4-8	100	20	EPA-5Hz	X	11,5
	8	A5-1	1	28	EVA-5Hz	x	18,7
	9	A5-7	100	28	EPA-5Hz	x	19,7

Sau khi kiểm tra phương pháp LSM theo sáng chế bằng các thử nghiệm nêu trên, thu được các kết quả được thể hiện trong Bảng 4 dưới đây.

Bảng 4: Kết quả thử nghiệm thực hiện phương pháp LSM theo sáng chế

Băng thông (MHz)	Trường hợp	Phân tích hiệu năng đạt được (%)			
		Hiệu năng		So sánh với chuẩn (cao hơn)	
		Chuẩn 30%	Chuẩn 70%	Chuẩn 30%	Chuẩn 70%
5	0	49,6	80,1	19,6	10,1
	1	41,4	79,5	11,4	9,5
	2	x	83,8	x	13,8
	3	41,8	87,0	11,8	17,0
	4	49,5	82,7	19,5	12,7
	5	48,4	84,0	18,4	14,0
10	0	49,2	81,4	19,2	11,4
	1	50,3	91,9	20,3	21,9
	2	40,8	80,9	10,8	10,9
	3	41,3	87,9	11,3	17,9
	4	49,3	84,0	19,3	14,0
	5	49,2	84,4	19,2	14,4
15	0	50,7	95,2	20,7	25,2
	1	39,3	79,0	9,3	9,0
	2	40,1	93,7	10,1	23,7

Băng thông (MHz)	Trường hợp	Phân tích hiệu năng đạt được (%)			
		Hiệu năng		So sánh với chuẩn (cao hơn)	
		Chuẩn 30%	Chuẩn 70%	Chuẩn 30%	Chuẩn 70%
	3	x	77,1	x	7,1
	4	48,2	82,0	18,2	12,0
	5	49,1	84,5	19,1	14,5
	6	x	76,0	x	6,0
20	0	45,8	79,9	15,8	9,8
	1	50,5	84,0	20,5	14,0
	2	51,3	85,6	21,3	15,6
	3	48,1	92,2	18,1	22,2
	4	45,9	82,8	15,9	12,8
	5	42,6	82,4	12,6	12,4
	6	39,4	93,2	9,4	23,2
	7	x	77,3	x	7,3
	8	x	79,7	x	9,7
	9	x	81,0	x	11,0

Từ bảng kết quả trên đây, kết quả so sánh giữa phương pháp LSM theo sáng chế và chuẩn quy định với số liệu chi tiết được mô tả trong Bảng 5 dưới đây:

Bảng 5: So sánh phương pháp LSM và chuẩn quy định

Băng thông (MHz)	Hiệu năng cao hơn trung bình so với chuẩn (%)	
	Chuẩn 30%	Chuẩn 70%
5	16,15	12,86
10	16,68	15,06
15	15,48	13,93
20	16,20	13,81
Trung bình 4 băng	16,13	13,92

Phương pháp ước lượng kênh đường lên (uplink) dựa trên ứng dụng lọc bình phương tối thiểu trung bình (Least Square Mean - LSM) cho hiệu năng giải mã kênh PUSCH cao hơn rất nhiều so với chuẩn quy định. Kết quả này là một trong những yếu tố góp phần tăng chỉ số đánh giá hiệu quả (Key Performance Indicator – KPI) và do đó nâng cao chất lượng tổng thể của hệ thống eNodeB.

YÊU CẦU BẢO HỘ

1. Phương pháp ước lượng kênh đường lên dựa trên ứng dụng lọc bình phương tối thiểu trung bình (Least Square Mean - LSM) trong hệ thống mạng di động thế hệ thứ 4 (4th Generation Long Term Evolution - 4G LTE), bao gồm:

i) thực hiện ước lượng thô bình phương tối thiểu (Least Square – LS) theo công thức (1) sau đây:

$$H_{LS}(sc, s) = rxDmrs(sc, s) \times dmrs(sc, s)^H \times [dmrs(sc, s) \times dmrs(sc, s)^H]^{-1} \quad (1)$$

trong đó:

- $H_{LS}(sc, s)$ là ma trận kênh truyền LS tại sóng mang con sc và khe s ($N_{RX} \times N_{TX}$);
 - $rxDmrs(sc, s)$ là vector $dmrs$ thu được tại sóng mang con sc và khe s ($N_{RX} \times 1$);
 - $dmrs(sc, s)$ là vector $dmrs$ đã biết trước tại sóng mang con sc và khe s ($N_{TX} \times 1$);
 - N_{RX} là số ăng ten thu;
 - N_{TX} là số ăng ten phát;
 - $sc = sc_0 \rightarrow sc_{end}$;
 - sc_0 là giá trị của sóng mang con đầu tiên cấp phát cho thiết bị đầu cuối;
 - sc_{end} là giá trị của sóng mang con cuối cùng cấp phát cho thiết bị đầu cuối; và
- $sc_{end} - sc = M_{SC}^{PUSCH} - 1$;
- M_{SC}^{PUSCH} là số lượng sóng mang con cấp phát cho thiết bị đầu cuối; và
 - $s = 0$ hoặc 1 ;

ii) ước lượng LSM thô trong đó bộ lọc trung bình được thực hiện theo công thức (2) sau đây(2):

$$H_{LSM}^{raw}(sc, s) = \begin{cases} \frac{\sum_{i=sc_0}^{sc+\lfloor \frac{M_W}{2} \rfloor} H_{LS}(i, s)}{sc - sc_0 + \lfloor \frac{M_W}{2} \rfloor}, & sc < sc_0 + \lfloor \frac{M_W}{2} \rfloor \\ \frac{\sum_{i=sc-\lfloor \frac{M_W}{2} \rfloor}^{sc+\lfloor \frac{M_W}{2} \rfloor} H_{LS}(i, s)}{M_W}, & sc_0 + \lfloor \frac{M_W}{2} \rfloor \leq sc \leq sc_{end} - \lfloor \frac{M_W}{2} \rfloor \\ \frac{\sum_{i=sc-\lfloor \frac{M_W}{2} \rfloor}^{sc_{end}} H_{LS}(i, s)}{sc_{end} - sc + \lfloor \frac{M_W}{2} \rfloor}, & sc > sc_{end} - \lfloor \frac{M_W}{2} \rfloor \end{cases} \quad (2)$$

trong đó:

- $H_{LSM}^{raw}(sc, s)$ là ma trận kênh truyền LS sau khi lọc nhiễu tại sóng mang con sc và khe s ($N_{RX} \times N_{TX}$); và
- M_W là chiều dài bộ lọc trung bình;

iii) thực hiện ước lượng độ trễ thời gian (Timing Offset - TO) theo công thức (3) và (4) sau đây:

$$TO(s) = \frac{1}{2\pi} \angle \text{trace} \left[\sum_{i=sc_0}^{sc_{end}-1} H_{LSM}^{raw}(i, s)^H \times H_{LSM}^{raw}(i+1, s) \right] \quad (3)$$

$$TO_{Phase}(s) = \exp[-j2\pi TO(s)] \quad (4)$$

trong đó:

- $TO(s)$ là độ lệch thời gian tại khe s để báo cáo lên các lớp trên; và
- $TO_{Phase}(s)$ là độ lệch pha kênh truyền giữa hai sóng mang con lân cận tại khe s ;

iv) bù TO vào kênh truyền ước lượng LS theo công thức (5) sau:

$$H_{LS}^{TO}(sc, s) = H_{LS}(sc, s) TO_{Phase}^{sc-sc_0}(s) = H_{LS}(sc, s) \exp[-j2\pi TO(s)(sc - sc_0)] \quad (5)$$

trong đó:

- $H_{LS}^{TO}(sc, s)$ là ma trận kênh truyền LS sau khi bù TO tại sóng mang con sc và khe s ($N_{RX} \times N_{TX}$); và
- $TO_{Phase}^{sc-sc_0}(s)$ là độ lệch pha kênh truyền giữa sóng mang con sc so với sóng mang đầu tiên cấp phát cho thiết bị đầu cuối tại khe s ;

v) ước lượng LSM tinh theo công thức (6) sau đây:

$$H_{LSM}^{TO}(sc, s) = \begin{cases} \frac{\sum_{i=sc_0}^{sc+\left\lfloor \frac{M_W}{2} \right\rfloor} H_{LS}^{TO}(i, s)}{sc - sc_0 + \left\lfloor \frac{M_W}{2} \right\rfloor}, & sc < sc_0 + \left\lfloor \frac{M_W}{2} \right\rfloor \\ \frac{\sum_{i=sc-\left\lfloor \frac{M_W}{2} \right\rfloor}^{sc+\left\lfloor \frac{M_W}{2} \right\rfloor} H_{LS}^{TO}(i, s)}{M_W}, & sc_0 + \left\lfloor \frac{M_W}{2} \right\rfloor \leq sc \leq sc_{end} - \left\lfloor \frac{M_W}{2} \right\rfloor \\ \frac{\sum_{i=sc-\left\lfloor \frac{M_W}{2} \right\rfloor}^{sc_{end}} H_{LS}^{TO}(i, s)}{sc_{end} - sc + \left\lfloor \frac{M_W}{2} \right\rfloor}, & sc > sc_{end} - \left\lfloor \frac{M_W}{2} \right\rfloor \end{cases} \quad (6)$$

trong đó:

- $H_{LSM}^{TO}(sc, s)$ là ma trận kênh truyền LS sau khi bù TO đã được lọc nhiễu tại sóng mang con sc và khe s ($N_{RX} \times N_{TX}$);

vi) giải bù TO theo công thức (7) sau đây:

$$H_{\text{LSM}}(sc, s) = \frac{H_{\text{LSM}}^{\text{TO}}(sc, s)}{\text{TO}_{\text{Phase}}^{sc-sc_0}(s)} = H_{\text{LSM}}^{\text{TO}}(sc, s) \exp[j2\pi\text{TO}(s)(sc - sc_0)] \quad (7)$$

trong đó:

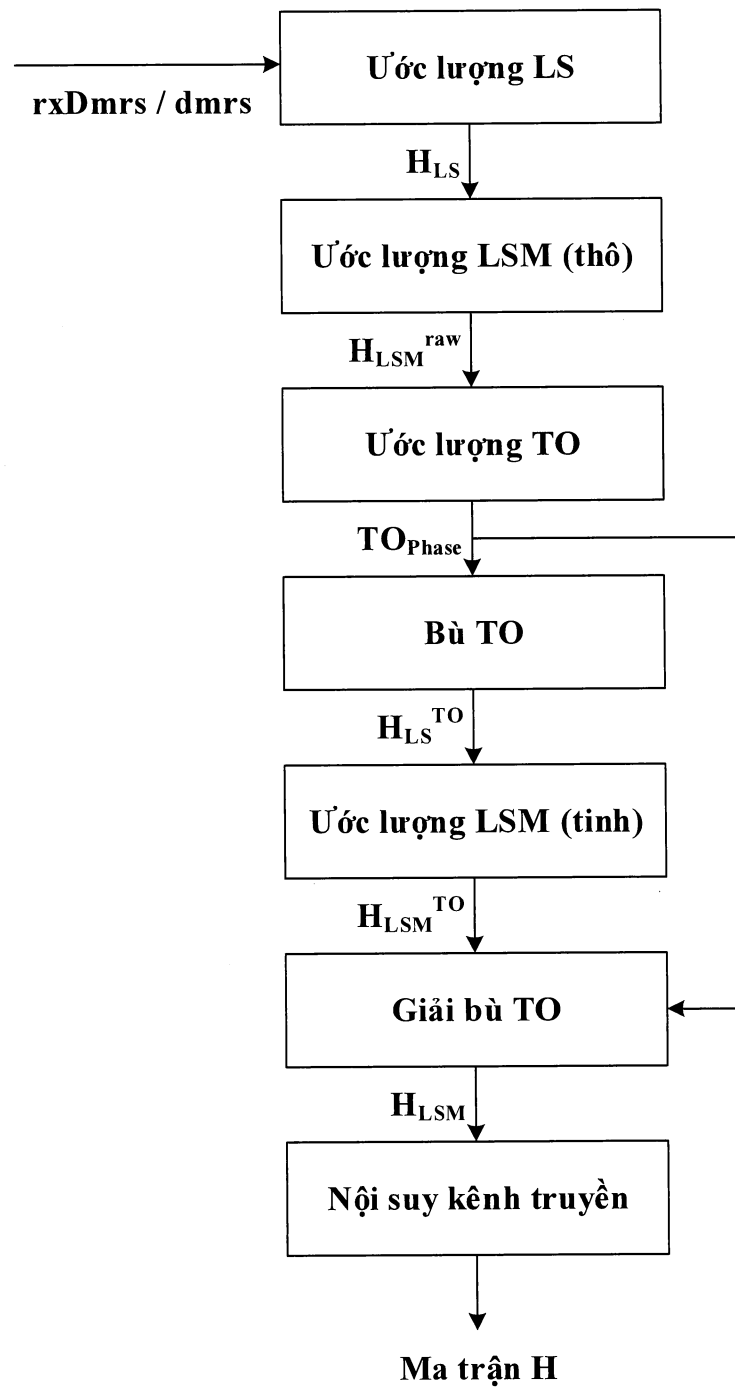
- $H_{\text{LSM}}(sc, s)$ là ma trận kênh truyền LSM cần tìm của dmrs tại sóng mang con sc và khe s ($N_{\text{RX}} \times N_{\text{TX}}$);

vii) nội suy kênh truyền bằng cách sử dụng kỹ thuật nội suy tuyến tính cho 12 ký hiệu còn lại trong lưới tài nguyên theo công thức (8) sau đây:

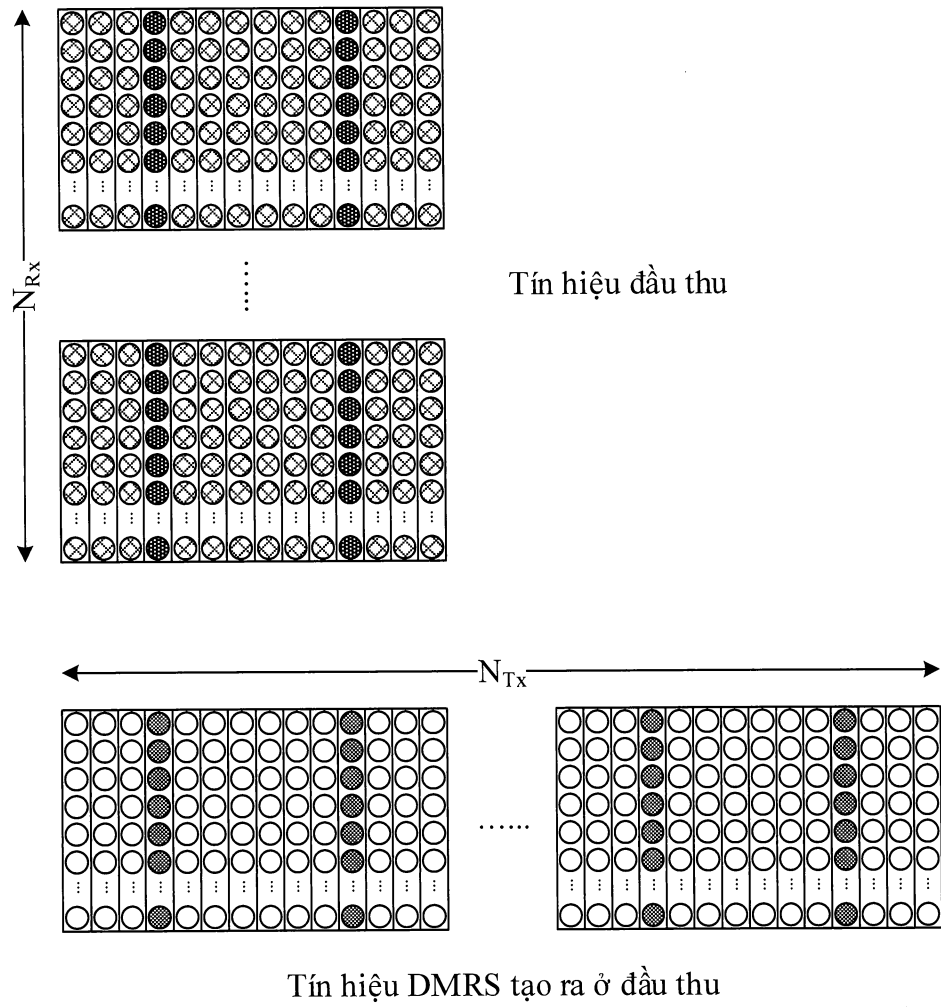
$$H(sc, k) = K_H(k, 0) \times H_{\text{LSM}}(sc, 0) + K_H(k, 1) \times H_{\text{LSM}}(sc, 1) \quad (8)$$

trong đó:

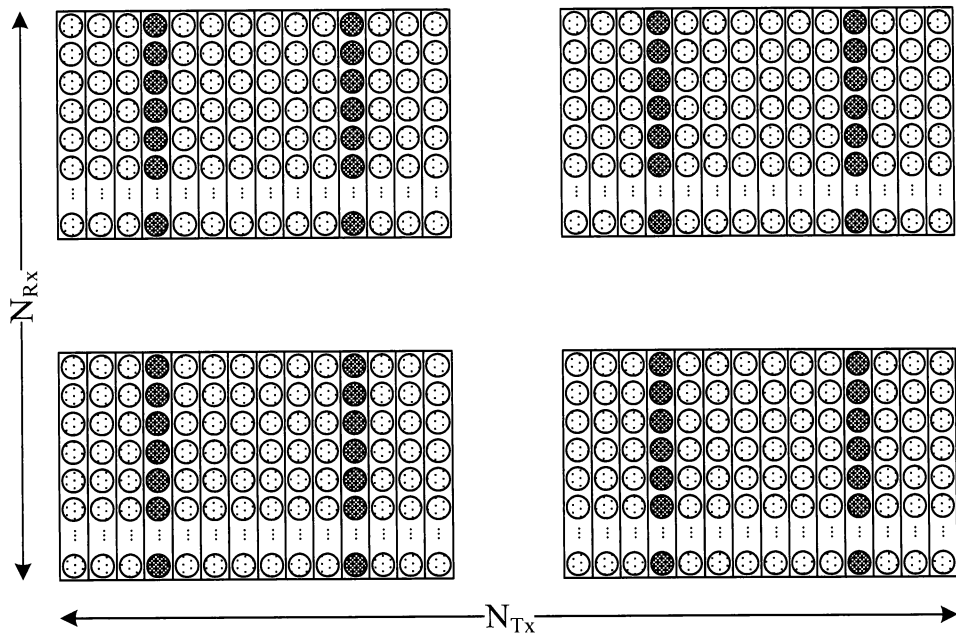
- $H(sc, k)$ là ma trận kênh truyền được nội suy ra tại sóng mang con sc và ký hiệu k ($N_{\text{RX}} \times N_{\text{TX}}$);
- $K_H(k, s)$ là hệ số nội suy kênh truyền cho ký hiệu thứ k ứng với ma trận kênh truyền LSM ở khe s ; và
- $k = 0, 1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 11, 12, 13$; việc lựa chọn các hệ số $K_H(k, s)$ cho từng ký hiệu phụ thuộc vào vị trí của ký hiệu trong lưới tài nguyên, kiểu điều chế và băng thông hệ thống.



Hình 1



Hình 2



Hình 3