



(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)



1-0028512

(51)⁷ G01S 3/00; G01S 1/00

(13) B

(21) 1-2017-02057

(22) 31/05/2017

(45) 25/06/2021 399

(43) 25/10/2017 355A

(73) Tập đoàn Viễn thông Quân đội (VN)

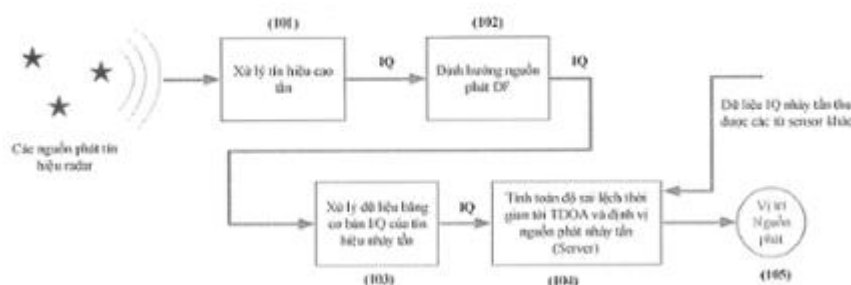
Số 1 đường Trần Hữu Dực, phường Mỹ Đình 2, quận Nam Từ Liêm, thành phố Hà Nội

(72) Đồng Quang Trung (VN); Lê Triều Dương (VN); Đặng Hữu Tùng (VN); Dương Minh Tùng (VN).

(74) Công ty TNHH Tư vấn Quốc Dân (NACI CO., LTD)

(54) HỆ THỐNG VÀ PHƯƠNG PHÁP XÁC ĐỊNH NGUỒN PHÁT TÍN HIỆU NHẢY TẦN DỰA TRÊN KẾT HỢP ĐỊNH HƯỚNG NGUỒN PHÁT VÀ TÍNH TOÁN ĐỘ LỆCH THỜI GIAN TỚI

(57) Sáng chế đề cập đến hệ thống và phương pháp xác định nguồn phát tín hiệu nhảy tần dựa trên kết hợp định hướng nguồn phát và tính toán độ lệch thời gian tới. Hệ thống theo sáng chế bao gồm: khối xử lý tín hiệu cao tần, khối định hướng nguồn phát DF (Direction Finding), khối xử lý dữ liệu băng cơ bản I/Q (in-phase/quadrature) của tín hiệu nhảy tần, khối tính toán độ sai lệch thời gian tới TDOA (Time Difference of Arrival) và định vị nguồn phát nhảy tần, khối hiển thị vị trí nguồn phát. Phương pháp theo sáng chế bao gồm các bước tương ứng thực hiện tính toán góc tới của nguồn phát tín hiệu bởi khối định hướng nguồn phát DF; phân tách và nhóm các nguồn phát tín hiệu nhảy tần; xử lý tín hiệu băng cơ bản I/Q của tín hiệu nhảy tần bởi khối xử lý dữ liệu băng cơ bản I/Q; và xác định vị trí nguồn phát nhảy tần thông qua tính toán giá trị độ trễ thời gian bằng phương pháp tương quan chéo.



Lĩnh vực kỹ thuật được đề cập

Sáng chế đề cập tới hệ thống và phương pháp xác định nguồn phát tín hiệu nhảy tần dựa trên kết hợp định hướng nguồn phát (Direction Finding - DF) và tính toán độ lệch thời gian tới (Time Difference of Arrival - TDOA) để phân biệt các nguồn phát tín hiệu nhảy tần khác nhau, kết hợp với TDOA để định vị các nguồn phát nhảy tần.

Tình trạng kỹ thuật của sáng chế

Hiện nay, việc định vị các nguồn phát tín hiệu vô tuyến với mục đích xác định giám sát, phát hiện các nguồn tín hiệu gây nhiễu, các nguy cơ khác, v.v.. Trong các phương pháp định vị truyền thống hiện nay, khi muốn định vị nguồn phát, cần phải biết thông tin về tần số hoạt động của nguồn phát để tiến hành thu nhận dữ liệu tín hiệu I/Q (in-phase/quadrature) của nguồn phát ở tần số mong muốn, sau đó, mới áp dụng được các thuật toán để xác định vị trí nguồn phát.

Tuy nhiên, đối với trường hợp các nguồn phát tín hiệu nhảy tần (tức là nguồn tín hiệu thay đổi tần số phát trong một thời gian ngắn) cùng thực hiện nhảy tần trong cùng một dải tần, tần số của nguồn phát là không cố định và có thể trùng với một tần số cố định của một nguồn phát khác. Trong trường hợp này, máy thu thực hiện chức năng định vị sẽ không xác định được đâu là tín hiệu nhảy tần của nguồn mong muốn, đâu là tín hiệu nhảy tần của nguồn khác (nguồn không mong muốn). Đặc biệt đối với các nguồn phát có tốc độ nhảy tần cao (≥ 500 tần/giây), thời gian tồn tại của tín hiệu là rất ngắn (≤ 2 mili-giây). Lúc này các phương pháp định vị truyền thống sẽ khó xác định được chính xác vị trí nguồn phát nhảy tần.

Bản chất kỹ thuật của sáng chế

Để khắc phục hạn chế khi định vị nguồn phát nhảy tần, nhóm tác giả đã đề xuất một hệ thống và phương pháp mới đơn giản và hiệu quả để định vị nguồn phát nhảy tần bằng việc sử dụng kết hợp định hướng tín hiệu DF và thuật toán TDOA. Sáng chế đã áp dụng các phương pháp tính toán pha trong hình học, tính tương quan chéo, kết hợp với việc chỉ sử dụng hai kênh trong tổng số N kênh đã làm đơn giản hóa quá trình tính toán, phù hợp với việc tính toán nhanh chóng cho nguồn phát nhảy tần khi thời gian tồn tại của tín hiệu nhảy tần là rất ngắn (≤ 2 mili giây). Ngoài ra, sáng chế đã làm giảm độ phức tạp khi vẽ và tìm giao điểm của các đường hyperbole, có thể triển khai nhanh và cho hiệu quả định vị cao với các nguồn phát tín hiệu nhảy tần.

Mục đích thứ nhất của sáng chế là đề xuất một hệ thống xác định nguồn phát tín hiệu nhảy tần dựa trên kết hợp định hướng nguồn phát và tính toán độ lệch thời gian tới bao gồm khối xử lý tín hiệu cao tần, khối định hướng nguồn phát DF (Direction Finding), khối tính toán độ sai lệch thời gian tới TDOA (Time Difference of Arrival), các bộ thu, máy chủ, và môđun hiển thị; trong đó:

khối xử lý tín hiệu cao tần để thu nhận các tín hiệu nhảy tần, khối xử lý tín hiệu cao tần này sử dụng ăng ten tròn định hướng gồm N chấn tử để thu nhận tín hiệu I/Q (in-phase/quadrature) cao tần với băng thông rộng, và có khối chuyển mạch cao tần để lựa chọn theo chu kỳ đều đặn lần lượt hai trong số N kênh, sau đó tín hiệu cao tần từ hai kênh được đưa xuống băng cơ bản sử dụng bộ chuyển đổi ADC có chức năng là bộ chuyển đổi băng rộng của nhiều nguồn phát khác nhau, sử dụng bộ lọc thông thấp FIR (Finite Impulse Response) để loại bớt nhiễu, nâng cao độ nhạy, và sử dụng môđun CIC (Cascaded Integrated Comb) làm giảm tần số lấy mẫu để giảm dung lượng đường truyền dữ liệu qua mạng 3G, 4G, nhờ đó tăng tốc độ tính toán hệ thống;

khối định hướng nguồn phát DF tính toán góc tới của nguồn phát tín hiệu thông qua thực hiện:

tính toán độ lệch pha tiêu chuẩn giữa kênh thứ n và kênh thứ nhất, $\alpha_{n1}^0(\theta, \lambda)$ được tính toán với các góc tới tiêu chuẩn θ và bước sóng λ khác nhau theo công thức:

$$\alpha_{n1}^0(\theta, \lambda) = \frac{2\pi}{\lambda} L_{n1} \cos(\alpha_{n1})$$

trong đó α_{n1} là góc tương quan giữa hướng tới của tín hiệu nhảy tần với đường kết nối giữa kênh thứ n và kênh thứ nhất, L_{n1} là khoảng cách giữa kênh thứ n và kênh đầu tiên,

tính toán độ lệch pha thực tế $\overline{\alpha_{n1}(\lambda)}$ của tín hiệu đến trên hai kênh khác nhau của ăngten UCA bằng cách tính toán tương quan giữa hai tín hiệu $y_n(t)$ và $y_1(t)$ thu được tại kênh thứ n và kênh 1 của nguồn phát tín hiệu nhảy tần theo công thức:

$$\overline{\alpha_{n1}(\lambda)} = \frac{2\pi}{\lambda} * \text{angle} \left(\sum_{t=1}^T [y_n(t) y_1^*(t)] \right),$$

tính toán tương quan giữa độ lệch pha thực tế với độ lệch pha chuẩn đối với từng góc tới thử nghiệm sao cho góc tới thử nghiệm nào làm cho hàm tương quan hình học dưới đây đạt giá trị cực đại được xem là giá trị ước lượng góc tới của nguồn phát tín hiệu nhảy tần AOA (Angle of Arrival) theo công thức:

$$AOA = \bar{\theta} = \max_{\theta} \sum_{n=2}^N \left[\frac{1}{\left(\overline{\alpha_{n1}(\lambda)} - \alpha_{n1}^0(\theta, \lambda) \right)^2} \right], \text{ và}$$

phân tách và nhóm các nguồn phát tín hiệu nhảy tần bởi khối định hướng nguồn phát DF nhờ thực hiện phân biệt các nguồn phát nhảy tần dựa trên góc tới của tín hiệu nhảy tần và nhóm lại các tín hiệu nhảy tần có chung một góc tới thành một nhóm tín hiệu nhảy tần, nhóm tín hiệu nhảy tần này đặc trưng cho một nguồn phát nhảy tần, trong đó các tín hiệu nhảy tần trong cùng một nhóm được lựa chọn

có chung góc tới AOA và thời gian các tín hiệu phải liên tiếp nhau, được nhận biết thông qua các nhãn thời gian liên tiếp nhau;

xác định vị trí nguồn phát nhảy tần bởi khối tính toán độ sai lệch thời gian tới TDOA thông qua tính toán giá trị độ trễ thời gian bằng phương pháp tương quan chéo, và định vị nguồn phát nhảy tần trên máy chủ, trong đó:

tín hiệu I/Q sau ghép nối tương ứng với một nguồn phát tín hiệu nhảy tần sẽ được gửi về máy chủ đối với tất cả các bộ thu, từ đó xác định giá trị độ trễ thời gian tới các bộ thu từ một nguồn phát nhảy tần bằng phương pháp tương quan chéo sử dụng công thức:

$$R_{x_1x_2}(\tau) = E[x_1(t)x_2(t-\tau)] = x_2(t)x_1^*(t)$$

trong đó $R_{x_1x_2}(\tau)$ là giá trị độ trễ thời gian tới, $x_1(t)$ và $x_2(t)$ là hai tín hiệu thu được từ cùng một nguồn phát tín hiệu nhảy tần $s(t)$, τ là độ lệch thời gian,

đối với hai tín hiệu $x_1(t)$ và $x_2(t)$ thu được từ cùng một nguồn phát tín hiệu nhảy tần $s(t)$, độ sai lệch thời gian $\tau = D$ thì tại đó giá trị $|R_{x_1x_2}(\tau)|$ đạt cực đại chính là độ sai lệch thời gian đến của cùng một tín hiệu $s(t)$ đến hai bộ thu,

xác định được vị trí ước lượng của nguồn phát tín hiệu từ các cặp giá trị sai lệch khoảng cách $\Delta r_{21}, \Delta r_{31}, \Delta r_{32}$ và thông qua quá trình chia mắt lưới đơn giản, bằng cách làm cho hàm độ sai lệch khoảng cách đạt giá trị cực tiểu theo công thức:

$$(\overline{\Delta x}, \overline{\Delta y}) = \min_{(\Delta x, \Delta y)} \sum_{i,j=1}^3 |\delta r_{ij} - \Delta r_{ij}|$$

trong đó $(\overline{\Delta x}, \overline{\Delta y})$ là tọa độ vị trí của nguồn phát nhảy tần, $\Delta r_{21}, \Delta r_{31}, \Delta r_{32}$ là các cặp giá trị sai lệch, δr_i là khoảng cách từ các vị trí nguồn phát nhảy tần ước lượng tới bộ thu;

môđun hiển thị để hiển thị tọa độ vị trí của nguồn phát nhảy tần.

Mục đích thứ hai của sáng chế là đề xuất phương pháp xác định nguồn phát tín hiệu nhảy tần dựa trên kết hợp định hướng nguồn phát và tính toán độ lệch thời gian tới bao gồm các bước:

bước 1: thu nhận các tín hiệu nhảy tần bởi khối xử lý tín hiệu cao tần, và tính toán góc tới của nguồn phát tín hiệu khối định hướng nguồn phát DF (Direction Finding), trong đó:

khối xử lý tín hiệu cao tần này sử dụng ăng ten tròn định hướng gồm N chấu tử để thu nhận tín hiệu I/Q (in-phase/quadrature) cao tần với băng thông rộng (vài chục MHz đến vài trăm MHz), và có khối chuyển mạch cao tần để lựa chọn theo chu kỳ đều đặn lần lượt hai trong số N kênh, sau đó tín hiệu cao tần từ hai kênh được đưa xuống băng cơ bản sử dụng bộ chuyển đổi ADC có chức năng là bộ chuyển đổi băng rộng của nhiều nguồn phát khác nhau, sử dụng bộ lọc thông thấp FIR (Finite Impulse Response) để loại bớt nhiễu, nâng cao độ nhạy, và sử dụng môđun CIC (Cascaded Integrated Comb) làm giảm tần số lấy mẫu để giảm dung lượng đường truyền dữ liệu qua mạng, tăng tốc độ tính toán hệ thống, và

khối định hướng nguồn phát DF thực hiện:

tính toán độ lệch pha tiêu chuẩn giữa kênh thứ n và kênh thứ nhất, $\alpha_{n1}^0(\theta, \lambda)$ được tính toán với các góc tới tiêu chuẩn θ và bước sóng λ khác nhau theo công thức:

$$\alpha_{n1}^0(\theta, \lambda) = \frac{2\pi}{\lambda} L_{n1} \cos(\alpha_{n1})$$

trong đó α_{n1} là góc tương quan giữa hướng tới của tín hiệu nhảy tần với đường kết nối giữa kênh thứ n và kênh thứ nhất, L_{n1} là khoảng cách giữa kênh thứ n và kênh đầu tiên,

tính toán độ lệch pha thực tế $\overline{\alpha_{n1}(\lambda)}$ của tín hiệu đến trên hai kênh khác nhau của ăngten UCA bằng cách tính toán tương quan giữa hai tín hiệu $y_n(t)$ và

$y_l(t)$ thu được tại kênh thứ n và kênh 1 của nguồn phát tín hiệu nhảy tần theo công thức:

$$\overline{\alpha_{n1}(\lambda)} = \frac{2\pi}{\lambda} * \text{angle} \left(\sum_{t=1}^T [y_n(t) y_1^*(t)] \right),$$

tính toán tương quan giữa độ lệch pha thực tế với độ lệch pha chuẩn đối với từng góc tới thử nghiệm sao cho góc tới thử nghiệm nào làm cho hàm tương quan hình học dưới đây đạt giá trị cực đại được xem là giá trị ước lượng góc tới của nguồn phát tín hiệu nhảy tần AOA (Angle of Arrival) theo công thức:

$$AOA = \bar{\theta} = \max_{\theta} \sum_{n=2}^N \left[\frac{1}{\left(\overline{\alpha_{n1}(\lambda)} - \alpha_{n1}^0(\theta, \lambda) \right)^2} \right];$$

bước 2: phân tách và nhóm các nguồn phát tín hiệu nhảy tần bởi khối định hướng nguồn phát DF nhờ thực hiện phân biệt các nguồn phát nhảy tần dựa trên góc tới của tín hiệu nhảy tần và nhóm lại các tín hiệu nhảy tần có chung một góc tới thành một nhóm tín hiệu nhảy tần, nhóm tín hiệu nhảy tần này đặc trưng cho một nguồn phát nhảy tần, trong đó các tín hiệu nhảy tần trong cùng một nhóm được lựa chọn có chung góc tới AOA và thời gian các tín hiệu phải liên tiếp nhau, được nhận biết thông qua các nhãn thời gian liên tiếp nhau;

bước 3: xác định vị trí nguồn phát nhảy tần bởi khối tính toán độ sai lệch thời gian tới TDOA (Time Difference of Arrival) thông qua tính toán giá trị độ trễ thời gian bằng phương pháp tương quan chéo, và định vị nguồn phát nhảy tần trên máy chủ, trong đó:

tín hiệu I/Q sau ghép nối tương ứng với một nguồn phát tín hiệu nhảy tần sẽ được gửi về máy chủ đối với tất cả các bộ thu, từ đó xác định giá trị độ trễ thời gian tới các bộ thu từ một nguồn phát nhảy tần bằng phương pháp tương quan chéo sử dụng công thức:

$$R_{x_1 x_2}(\tau) = E[x_1(t) x_2(t - \tau)] = x_2(t) x_1^*(t)$$

trong đó $R_{x_1x_2}(\tau)$ là giá trị độ trễ thời gian tới, $x_1(t)$ và $x_2(t)$ là hai tín hiệu thu được từ cùng một nguồn phát tín hiệu nhảy tần $s(t)$, τ là độ lệch thời gian,

đối với hai tín hiệu $x_1(t)$ và $x_2(t)$ thu được từ cùng một nguồn phát tín hiệu nhảy tần $s(t)$, độ sai lệch thời gian $\tau = D$ thì tại đó giá trị $|R_{x_1x_2}(\tau)|$ đạt cực đại chính là độ sai lệch thời gian đến của cùng một tín hiệu $s(t)$ đến hai bộ thu,

xác định được vị trí ước lượng của nguồn phát tín hiệu từ các cặp giá trị sai lệch khoảng cách $\Delta r_{21}, \Delta r_{31}, \Delta r_{32}$ và thông qua quá trình chia mắt lưới đơn giản, bằng cách làm cho hàm độ sai lệch khoảng cách đạt giá trị cực tiểu theo công thức:

$$(\overline{\Delta x}, \overline{\Delta y}) = \min_{(\Delta x, \Delta y)} \sum_{i,j=1}^3 |\delta r_{ij} - \Delta r_{ij}|$$

trong đó $(\overline{\Delta x}, \overline{\Delta y})$ là tọa độ vị trí của nguồn phát nhảy tần, $\Delta r_{21}, \Delta r_{31}, \Delta r_{32}$ là các cặp giá trị sai lệch, δr_i là khoảng cách từ các vị trí nguồn phát nhảy tần ước lượng tới bộ thu,

hiển thị tọa độ vị trí của nguồn phát nhảy tần trên môđun hiển thị.

Mô tả vắn tắt các hình vẽ

Hình 1 là hình vẽ thể hiện hệ thống định vị nguồn phát tín hiệu trong vùng giám sát;

Hình 2 là hình vẽ sơ đồ nguyên lý hệ thống xử lý phương pháp định vị nguồn phát tín hiệu nhảy tần dựa trên kết hợp định hướng nguồn tín hiệu DF và thuật toán TDOA;

Hình 3 là hình vẽ sơ đồ nguyên lý hoạt động của khối xử lý tín hiệu cao tần;

Hình 4 là hình vẽ thể hiện phương pháp xác định góc tới nguồn phát tín hiệu DF sử dụng ăngten tròn định hướng UCA;

Hình 5 là hình vẽ phân tách và nhóm các nguồn phát tín hiệu nhảy tần sử dụng phương pháp định hướng tín hiệu DF;

Hình 6 là hình vẽ thể hiện việc xác định vị trí nguồn phát tín hiệu dựa trên phương pháp TDOA;

Hình 7 là hình vẽ thể hiện các bước từ lúc xử lý góc hướng của tất cả các tín hiệu nhảy tần đến khi xác định được vị trí của các nguồn phát nhảy tần.

Mô tả chi tiết sáng chế

Tham chiếu vào Hình 1, hệ thống xác định nguồn phát tín hiệu nhảy tần dựa trên kết hợp định hướng nguồn phát và tính toán độ lệch thời gian tới bao gồm các khối: khối xử lý tín hiệu cao tần; khối định hướng nguồn phát DF; khối xử lý dữ liệu bằng cơ bản I/Q của tín hiệu nhảy tần; khối tính toán độ sai lệch thời gian tới TDOA và định vị nguồn phát nhảy tần; khối hiển thị vị trí nguồn phát.

Tham chiếu Hình 3, khối xử lý tín hiệu cao tần 101 bao gồm ăngten tròn định hướng (Uniform Circular Array - UCA) được sử dụng để thu tín hiệu từ các nguồn phát nhảy tần. Ăng ten tròn gồm N chân tử được đánh số từ $1 \rightarrow N$ tương ứng với N kênh tín hiệu khác nhau, và được đặt cách đều nhau trên một vòng tròn. Trong khối này sẽ bao gồm một khối chuyển mạch cao tần có nhiệm vụ lựa chọn theo chu kỳ đều đặn lần lượt hai trong số N kênh, và tín hiệu cao tần (tín hiệu tương tự) được xử lý cao tần. Quá trình xử lý tín hiệu cao tần gồm hai bước: tín hiệu tương tự này sẽ được chuyển thành tín hiệu số I/Q bằng bộ chuyển đổi ADC (Analog-To-Digital Converter); tín hiệu sau đó sẽ được thực hiện bằng bộ lọc thông thấp FIR (Finite Impulse Response) để loại bớt nhiễu. Tín hiệu số I/Q băng rộng sẽ thể hiện một dải rộng tần số (cỡ hàng chục MHz đến hàng trăm MHz), trong đó bao phủ toàn bộ dải tần giám sát, và bao phủ nhiều nguồn phát nhảy tần cùng hoạt động (thông thường một nguồn phát nhảy tần có băng thông rộng cỡ vài chục kHz đến vài trăm kHz). Nên một vùng giám sát có thể giám sát vài chục đến vài trăm nguồn phát nhảy tần cùng lúc. Sau bộ lọc FIR, các tín hiệu I/Q được giảm tần số lấy mẫu bằng cách xử lý qua môđun CIC (Cascaded Integrated Comb), với mục đích làm giảm dung lượng dữ liệu truyền qua cáp quang hoặc qua mạng 3G, 4G, từ đó tăng tốc độ tính toán của hệ thống.

Tham chiếu vào Hình 4, khối định hướng nguồn phát DF 102: các tín hiệu sau khi được trích mẫu phù hợp sẽ được đưa vào môđun định hướng nguồn tín hiệu DF 102. Môđun này thực hiện ba nhiệm vụ chính:

- xác định góc tới của tất cả các tín hiệu nhảy tần;
- phân tách các nguồn tín hiệu nhảy tần,
- nhóm tín hiệu thu được của các nguồn phát nhảy tần lại thành các nhóm khác nhau, tương ứng với các nguồn phát nhảy tần đó.

Quá trình phân tách các nguồn phát bao gồm quá trình xác định góc tới ăng ten định hướng UCA của các nguồn phát khác nhau. Tuy một nguồn phát nhảy tần sẽ thay đổi các tần số khác nhau. Nhưng hướng góc tới ăng ten UCA của tất cả các tần số của cùng nguồn phát đó lại giống nhau. Khi đó, các nguồn phát nhảy tần khác nhau có thể được phân biệt bởi bộ ba tham số:

- tần số hoạt động của các nguồn phát là khác nhau tại cùng một thời điểm;
- thời gian hoạt động của các nguồn phát khác nhau là khác nhau;
- góc tới ăng ten định hướng UCA của các nguồn khác nhau là khác nhau.

Trong hệ thống định vị nguồn phát tín hiệu nhảy tần, hệ thống thu nhận đảm bảo là tín hiệu từ nguồn phát đến ăng ten UCA là nhìn thẳng, không bị che chắn, và nhiễu ở đây chỉ là nhiễu trắng AWGN.

Tham chiếu vào Hình 5, khối xử lý dữ liệu băng cơ bản I/Q của tín hiệu nhảy tần 103: đầu vào của khối xử lý dữ liệu là tín hiệu I/Q băng hẹp, của các nhóm tín hiệu nhảy tần của các góc tới khác nhau. Mỗi nhóm tín hiệu nhảy tần tương ứng với 1 nguồn phát nhảy tần. Nhiệm vụ của khối xử lý tín hiệu băng cơ bản I/Q 103 bao gồm các bước sau:

lọc tín hiệu I/Q bằng bộ lọc thông thấp FIR (Finite Impulse Response) với băng thông là băng thông của tín hiệu (vài chục kHz đến vài trăm kHz, tùy thuộc vào băng thông tín hiệu đó) với mục đích làm giảm nhiễu của tín hiệu, tăng độ chính xác của phương pháp định vị sử dụng TDOA;

ghép nối các tín hiệu I/Q nhảy tần của một nguồn phát nhảy tần thành một tín hiệu I/Q có kích thước dài, với mục đích tăng độ hội tụ xác định vị trí bằng phương pháp tính toán độ sai lệch thời gian tới – TDOA.

Vì các tín hiệu I/Q của nguồn phát nhảy tần thường có kích thước ngắn, nên việc tính toán TDOA trên đoạn dữ liệu ngắn thường không cho kết quả chính xác. Do đó, cần một bước quan trọng là ghép nối các tín hiệu I/Q nhảy tần thành một tín hiệu dài để nâng cao độ chính xác tính toán TDOA.

Quá trình ghép nối các tín hiệu I/Q nhảy tần thành một tín hiệu I/Q nhảy tần có kích thước dài, được kết hợp với quá trình tính toán nhãn thời gian (timestamp) của từng tín hiệu I/Q nhảy tần. Ngoài bộ ba điều kiện ở trên, các tín hiệu nhảy tần trong cùng một nhóm có cùng góc tới *AOA*, thì cần có thêm điều kiện là các tín hiệu trong cùng nhóm phải có timestamp liên tiếp nhau mới chắc chắn đảm bảo là của cùng một nguồn phát nhảy tần.

Tham chiếu vào Hình 6, khối tính toán độ sai lệch thời gian tới TDOA và định vị nguồn phát nhảy tần 104: các tín hiệu I/Q dài của cùng một nguồn phát nhảy tần sẽ được gửi về trạm xử lý trung tâm (máy chủ) từ tất cả các thiết bị thu khác nhau (sensor) thông qua đường truyền tín hiệu 3G, 4G (tham chiếu hình 1). Từ đó vị trí của các nguồn tín hiệu này có thể được xác định nhờ sử dụng phương pháp tính toán độ lệch thời gian tới TDOA. Phương pháp TDOA là phương pháp xác định vị trí nguồn phát dựa trên cơ sở hình học và mối tương quan giữa độ trễ thời gian của tín hiệu phát đến các thiết bị thu tín hiệu khác nhau và độ chênh lệch khoảng cách từ nguồn phát tín hiệu đến các điểm thu tín hiệu này. Hệ thống định vị sử dụng phương pháp TDOA cần tối thiểu ba sensor, và đạt kết quả tốt nhất với hệ thống sử dụng bốn sensor. Tại khối xử lý trung tâm, quá trình tính toán tương quan để xác định giá trị TDOA, sau đó xác định vị trí nguồn phát nhảy tần sẽ được thực hiện cho tất cả các nguồn nhảy tần trong vùng giám sát.

Khối hiển thị vị trí nguồn phát 105: sau khi tính toán được sai lệch thời gian tới TDOA, từ đó sẽ xác định được vị trí nguồn phát tín hiệu và đưa lên khối hiển thị.

Tham chiếu vào Hình 2, hệ thống xác định nguồn phát tín hiệu nhảy tần dựa trên kết hợp định hướng nguồn phát và tính toán độ lệch thời gian tới được thực hiện theo quy trình: Mỗi một sensor sẽ thu tất cả các tín hiệu cao tần của các nguồn phát khác nhau tại đầu vào các ăng ten định hướng DF, và tín hiệu sẽ được xử lý ở trong khối xử lý tín hiệu cao tần 101 để chuyển về tín hiệu băng cơ bản (tín hiệu I/Q – inphase/quadrature). Tín hiệu băng cơ bản sẽ chuyển sang môđun định hướng nguồn phát DF, nội dung chính của sáng chế được đề xuất trong sáng chế nằm ở các khối xử lý định hướng nguồn phát 102, khối xử lý tín hiệu I/Q băng cơ bản 103 và khối tính toán độ sai lệch thời gian tới TDOA và định vị nguồn phát nhảy tần 104. Tại khối xử lý định hướng nguồn phát sẽ thực hiện hai nhiệm vụ chính: phân tách các nguồn tín hiệu nhảy tần, và nhóm tín hiệu thu được của cùng một tín hiệu nhảy tần lại thành các nhóm khác nhau. Tại khối xử lý dữ liệu băng cơ bản I/Q 103 của tín hiệu nhảy tần sẽ thực hiện hai nhiệm vụ: tiền xử lý tín hiệu băng cơ bản (lọc loại bỏ nhiễu, chuẩn hóa công suất tín hiệu), và thực hiện ghép nối các tín hiệu I/Q băng cơ bản của cùng một nguồn phát. Mỗi một I/Q của tín hiệu nhảy tần sẽ được gán một nhãn thời gian, gọi là timestamp. Quá trình ghép nối I/Q sẽ căn cứ vào timestamp và căn cứ vào nguồn phát. Nếu các tín hiệu của cùng một nguồn phát, có timestamp liên tiếp nhau, sẽ được ghép nối với nhau. Việc ghép nối I/Q sẽ cho ta nhiều dữ liệu hơn để kết quả tín dữ liệu I/Q sau bước xử lý băng cơ bản sẽ được gửi về máy chủ, đảm bảo quá trình tính toán tương quan chéo sẽ chính xác hơn. Tại khối tính toán độ sai lệch thời gian tới TDOA và định vị nguồn phát nhảy tần, sẽ kết hợp với các dữ liệu I/Q từ các sensor khác để thực hiện tính toán sai lệch thời gian tới TDOA, từ đó xác định được vị trí nguồn phát tín hiệu và đưa lên khối hiển thị 105.

Mục tiêu thứ hai của sáng chế là đề xuất phương pháp xác định nguồn phát tín hiệu nhảy tần dựa trên kết hợp định hướng nguồn phát và tính toán độ lệch thời gian tới bao gồm các bước (tham chiếu hình 7): bước 1 tính toán góc tới của nguồn phát tín hiệu DF; bước 2 phân tách và nhóm các nguồn phát tín hiệu nhảy tần; bước 3 xử lý tín hiệu băng cơ bản I/Q của tín hiệu nhảy tần; bước 4 xác định vị trí

nguồn phát nhảy tần thông qua tính toán giá trị độ trễ thời gian bằng phương pháp tương quan chéo (Cross-correlation). Cụ thể:

Bước 1: Tính toán góc tới của nguồn phát tín hiệu DF. Bước này được thực hiện trong khối định hướng nguồn phát DF 102.

Góc tới của tín hiệu (hướng của nguồn phát đến ăngten tại bộ thu UCA) được thể hiện qua hình 4 và được xác định như sau:

tính toán độ lệch pha tiêu chuẩn giữa kênh thứ n và kênh 1 (được tính toán trên cơ sở hình học) $\alpha_{n1}^0(\theta, \lambda)$ được tính toán với các góc tới tiêu chuẩn θ và bước sóng λ (tương ứng với tần số phát) khác nhau:

$$\alpha_{n1}^0(\theta, \lambda) = \frac{2\pi}{\lambda} L_{n1} \cos(\alpha_{n1})$$

Với α_{n1} là góc tương quan giữa hướng tới của tín hiệu nhảy tần với đường kết nối giữa kênh thứ n và kênh 1. L_{n1} là khoảng cách giữa kênh thứ n và kênh 1,

tính toán độ lệch pha thực tế $\overline{\alpha_{n1}(\lambda)}$ của tín hiệu đến trên hai kênh khác nhau của ăngten UCA (gọi là độ lệch pha ước lượng), bằng cách tính toán tương quan giữa hai tín hiệu $y_n(t)$ và $y_1(t)$ thu được tại kênh thứ n và kênh 1 của nguồn phát tín hiệu nhảy tần:

$$\overline{\alpha_{n1}(\lambda)} = \frac{2\pi}{\lambda} * \text{angle} \left(\sum_{t=1}^T [y_n(t) y_1^*(t)] \right),$$

tính toán tương quan giữa độ lệch pha thực tế với độ lệch pha chuẩn đối với từng góc tới thử nghiệm. Góc tới thử nghiệm nào làm cho hàm tương quan hình học dưới đây đạt giá trị cực đại được xem là giá trị ước lượng góc tới (hướng) của nguồn phát tín hiệu nhảy tần:

$$AOA = \bar{\theta} = \max_{\theta} \sum_{n=2}^N \left[\frac{1}{\left(\overline{\alpha_{n1}(\lambda)} - \alpha_{n1}^0(\theta, \lambda) \right)^2} \right].$$

Quá trình tính toán góc tới của các nguồn phát tín hiệu nhảy tần được thực hiện nhanh và có thể đạt được độ chính xác về hướng cao (sai số rất nhỏ, chỉ $\sim 1^\circ$ ở cự ly $< 20\text{km}$). Mục đích chính của việc sử dụng phương pháp định hướng tín hiệu DF là tận dụng đặc tính của việc định hướng nguồn phát, nhờ đó, phân biệt chính xác hướng các nguồn tín hiệu nhảy tần khác nhau và nhóm các tín hiệu nhảy tần của cùng một nguồn phát (cùng một hướng tới AOA) thành một tập hợp dữ liệu và sử dụng như đầu vào cho thuật toán định vị nguồn phát TDOA. Hình 5 minh họa việc nhóm các tín hiệu nhảy tần của cùng một nguồn phát của 3 nguồn phát nhảy tần lại dựa trên việc sử dụng phương pháp định hướng nguồn tín hiệu DF để xác định góc tới (AOA – Angle of Arrival) của tín hiệu.

Bước 2: Phân tách và nhóm các nguồn phát tín hiệu nhảy tần.

Bước này được thực hiện trong khối định hướng nguồn phát DF 102.

Mục đích chính của việc sử dụng phương pháp định hướng tín hiệu DF là tận dụng đặc tính của việc định hướng nguồn phát, nhờ đó, phân biệt chính xác các nguồn tín hiệu nhảy tần khác nhau và nhóm các tín hiệu nhảy tần của cùng một nguồn phát thành một tập hợp dữ liệu và sử dụng như đầu vào cho thuật toán định vị nguồn phát TDOA. Hình 5 minh họa việc nhóm các tín hiệu nhảy tần của cùng một nguồn phát của 3 nguồn phát nhảy tần lại dựa trên nguyên tắc:

- các tín hiệu có góc tới AOA giống nhau thì xếp cùng một nhóm;
- các tín hiệu trong cùng một nhóm thì thời gian phải liên tiếp nhau.

Bước 3: xử lý tín hiệu bằng cơ bản I/Q của tín hiệu nhảy tần. Bước này được thực hiện trong khối 103.

Sau khi nhóm các tín hiệu I/Q bằng cơ bản của cùng một tín hiệu nhảy tần vào thành một nhóm, quá trình ghép nối I/Q được thực hiện theo hai bước:

- Lọc tín hiệu I/Q bằng bộ lọc thông thấp FIR (Finite Impulse Response) với băng thông là băng thông của tín hiệu với mục đích làm giảm nhiễu của tín hiệu, tăng độ chính xác của phương pháp khi tính toán định vị sử dụng TDOA.

- Ghép nối các tín hiệu I/Q nhảy tần của một nguồn phát nhảy tần thành một tín hiệu I/Q có kích thước dài, với mục đích tăng độ hội tụ xác định vị trí bằng phương pháp tính toán độ sai lệch thời gian tới - TDOA.

Sau khi các nguồn tín hiệu nhảy tần đã được phân tách, và được lọc bằng bộ lọc thông thấp sẽ hạn chế nhiễu môi trường, sẽ được nhóm thành một nhóm, các tín hiệu băng cơ bản I/Q được ghép thành một tín hiệu I/Q dài $s(t)$. Khi đó, vị trí của các nguồn phát tín hiệu nhảy tần này có thể được xác định nhờ sử dụng phương pháp tính toán độ lệch thời gian tới TDOA.

Bước 4: xác định vị trí nguồn phát nhảy tần thông qua tính toán giá trị độ trễ thời gian bằng phương pháp tương quan chéo (Cross-correlation). Bước 4 được xử lý trong khối tính toán độ sai lệch thời gian tới TDOA và định vị nguồn phát nhảy tần 104.

Một tín hiệu $s(t)$ truyền đi từ nguồn phát. Giả sử tín hiệu thu được tại bộ thu 1 và 2 lần lượt là $x_1(t)$ và $x_2(t)$:

$$\begin{aligned}x_1(t) &= s(t) + n_1(t), \\x_2(t) &= \alpha * s(t + D) + n_2(t),\end{aligned}$$

với $n_1(t)$ và $n_2(t)$ là nhiễu trắng (Additive White Gaussian Noise – AWGN), D là độ trễ thời gian của tín hiệu từ nguồn phát đến bộ thu 1 so với thời gian của tín hiệu từ nguồn phát đến bộ thu 2.

Phương pháp được sử dụng để xác định giá trị độ trễ thời gian D là phương pháp tương quan chéo (Cross-correlation):

$$R_{x_1x_2}(\tau) = E[x_1(t)x_2(t - \tau)] = x_2(t)x_1^*(t) \quad (2)$$

Giá trị τ tương ứng với giá trị $|R_{x_1x_2}(\tau)|$ đạt cực đại sẽ là độ trễ thời gian trễ D giữa hai tín hiệu đến hai bộ thu. Từ thời gian trễ D , ta sẽ có độ sai lệch về khoảng cách giữa 2 nguồn phát 1 và 2 là $\Delta r_{21} = D * c$ với c là vận tốc ánh sáng truyền trong chân không.

Từ các cặp giá trị $\Delta r_{21}, \Delta r_{31}, \Delta r_{32}$, ta sẽ vẽ được 3 đường hyperbole (21, 31, 32) tương ứng với từng cặp độ sai lệch khoảng cách. Giao điểm của 3 đường hyperbole chính là vị trí nguồn phát nhảy tần mong muốn. Ngoài ra, khi quá trình vẽ đường hyperbole và tìm giao điểm của các đường hyperbole (do mỗi cặp giá trị Δr_{ij} sẽ có 2 đường hyperbole âm/dương tương ứng, do đó ta có tất cả 6 đường hyperbole) trở nên phức tạp, ta có thể làm theo cách đơn giản sau:

- Chia miền quan sát bởi các sensor thành dạng mắt lưới, với khoảng cách giữa 2 điểm mắt lưới là đủ nhỏ Δd .
- Coi mỗi điểm mắt lưới là một vị trí *ước lượng* của nguồn phát nhảy tần $(\Delta x = \Delta x_0 + n * \Delta d, \Delta y = \Delta y_0 + m * \Delta d)$ với $(\Delta x_0, \Delta y_0)$ là gốc tọa độ Đề-Các cũng là vị trí của sensor trung tâm (sensor 1), và (n, m) là bước nhảy khoảng cách.
- Tính toán khoảng cách từ các vị trí nguồn phát nhảy tần *ước lượng* đến 3 sensor (với vị trí đã biết đầu tiên) δr_i với $i = 1 \rightarrow 3$:

$$\delta r_i = \sqrt{(\Delta x - \Delta x_i)^2 + (\Delta y - \Delta y_i)^2}$$

- Tính toán độ sai lệch khoảng cách giữa các δr_i , tương ứng với độ sai lệch khoảng cách từ nguồn phát nhảy tần *ước lượng* đến 3 sensor: $\delta r_{ij} = \delta r_j - \delta r_i$ với $i, j = 1 \rightarrow 3$.
- Xác định vị trí ước lượng phù hợp, làm cho hàm độ sai lệch khoảng cách đạt giá trị cực tiểu:

$$(\overline{\Delta x}, \overline{\Delta y}) = \min_{(\Delta x, \Delta y)} \sum_{i,j=1}^3 |\delta r_{ij} - \Delta r_{ij}|$$

Tọa độ $(\overline{\Delta x}, \overline{\Delta y})$ của nguồn phát nhảy tần ước lượng tương ứng với vị trí nguồn phát nhảy tần mong muốn sẽ được đẩy lên môđun hiển thị 105. Từ giải pháp trên ta có thể xác định được vị trí của tất cả các nguồn phát nhảy tần khác nhau.

Sáng chế được mô tả chi tiết bằng cách sử dụng các phương án được mô tả ở trên. Tuy nhiên, rõ ràng là đối với người hiểu biết trung bình trong lĩnh vực sáng

chế không bị giới hạn ở phương án được mô tả trong phần mô tả sáng chế. Sáng chế có thể được thực hiện ở chế độ cải biến hoặc thay đổi mà không nằm ngoài phạm vi sáng chế được xác định bởi các điểm yêu cầu bảo hộ. Vì vậy những gì được mô tả trong phần mô tả sáng chế chỉ nhằm mục đích minh họa, và sẽ không áp đặt bất kỳ giới hạn nào đối với sáng chế.

Yêu cầu bảo hộ

1. Hệ thống xác định nguồn phát tín hiệu nhảy tần dựa trên kết hợp định hướng nguồn phát và tính toán độ lệch thời gian tới bao gồm khối xử lý tín hiệu cao tần, khối định hướng nguồn phát DF (Direction Finding), khối tính toán độ sai lệch thời gian tới TDOA (Time Difference of Arrival), các bộ thu, máy chủ, và môđun hiển thị; trong đó:

khối xử lý tín hiệu cao tần để thu nhận các tín hiệu nhảy tần, khối xử lý tín hiệu cao tần này sử dụng ăng ten tròn định hướng gồm N chấn tử để thu nhận tín hiệu I/Q (in-phase/quadrature) cao tần với băng thông rộng, và có khối chuyển mạch cao tần để lựa chọn theo chu kỳ đều đặn lần lượt hai trong số N kênh, sau đó tín hiệu cao tần từ hai kênh được đưa xuống băng cơ bản sử dụng bộ chuyển đổi ADC có chức năng là bộ chuyển đổi băng rộng của nhiều nguồn phát khác nhau, sử dụng bộ lọc thông thấp FIR (Finite Impulse Response) để loại bớt nhiễu, nâng cao độ nhạy, và sử dụng môđun CIC (Cascaded Integrated Comb) làm giảm tần số lấy mẫu để giảm dung lượng đường truyền dữ liệu qua mạng 3G, 4G, nhờ đó tăng tốc độ tính toán hệ thống;

khối định hướng nguồn phát DF tính toán góc tới của nguồn phát tín hiệu thông qua thực hiện:

tính toán độ lệch pha tiêu chuẩn giữa kênh thứ n và kênh thứ nhất, $\alpha_{n1}^0(\theta, \lambda)$ được tính toán với các góc tới tiêu chuẩn θ và bước sóng λ khác nhau theo công thức:

$$\alpha_{n1}^0(\theta, \lambda) = \frac{2\pi}{\lambda} L_{n1} \cos(\alpha_{n1})$$

trong đó α_{n1} là góc tương quan giữa hướng tới của tín hiệu nhảy tần với đường kết nối giữa kênh thứ n và kênh thứ nhất, L_{n1} là khoảng cách giữa kênh thứ n và kênh đầu tiên,

tính toán độ lệch pha thực tế $\overline{\alpha_{n1}(\lambda)}$ của tín hiệu đến trên hai kênh khác nhau của ăngten UCA bằng cách tính toán tương quan giữa hai tín hiệu $y_n(t)$ và $y_1(t)$ thu được tại kênh thứ n và kênh 1 của nguồn phát tín hiệu nhảy tần theo công thức:

$$\overline{\alpha_{n1}(\lambda)} = \frac{2\pi}{\lambda} * \text{angle} \left(\sum_{t=1}^T [y_n(t) y_1^*(t)] \right),$$

tính toán tương quan giữa độ lệch pha thực tế với độ lệch pha chuẩn đối với từng góc tới thử nghiệm sao cho góc tới thử nghiệm nào làm cho hàm tương quan hình học dưới đây đạt giá trị cực đại được xem là giá trị ước lượng góc tới của nguồn phát tín hiệu nhảy tần AOA (Angle of Arrival) theo công thức:

$$AOA = \bar{\theta} = \max_{\theta} \sum_{n=2}^N \left[\frac{1}{\left(\overline{\alpha_{n1}(\lambda)} - \alpha_{n1}^0(\theta, \lambda) \right)^2} \right], \text{ và}$$

phân tách và nhóm các nguồn phát tín hiệu nhảy tần bởi khối định hướng nguồn phát DF nhờ thực hiện phân biệt các nguồn phát nhảy tần dựa trên góc tới của tín hiệu nhảy tần và nhóm lại các tín hiệu nhảy tần có chung một góc tới thành một nhóm tín hiệu nhảy tần, nhóm tín hiệu nhảy tần này đặc trưng cho một nguồn phát nhảy tần, trong đó các tín hiệu nhảy tần trong cùng một nhóm được lựa chọn có chung góc tới AOA và thời gian các tín hiệu phải liên tiếp nhau, được nhận biết thông qua các nhãn thời gian liên tiếp nhau;

xác định vị trí nguồn phát nhảy tần bởi khối tính toán độ sai lệch thời gian tới TDOA thông qua tính toán giá trị độ trễ thời gian bằng phương pháp tương quan chéo, và định vị nguồn phát nhảy tần trên máy chủ, trong đó:

tín hiệu I/Q sau ghép nối tương ứng với một nguồn phát tín hiệu nhảy tần sẽ được gửi về máy chủ đối với tất cả các bộ thu, từ đó xác định giá trị độ trễ thời gian tới các bộ thu từ một nguồn phát nhảy tần bằng phương pháp tương quan chéo sử dụng công thức:

$$R_{x_1x_2}(\tau) = E[x_1(t)x_2(t-\tau)] = x_2(t)x_1^*(t)$$

trong đó $R_{x_1x_2}(\tau)$ là giá trị độ trễ thời gian tới, $x_1(t)$ và $x_2(t)$ là hai tín hiệu thu được từ cùng một nguồn phát tín hiệu nhảy tần $s(t)$, τ là độ lệch thời gian,

đối với hai tín hiệu $x_1(t)$ và $x_2(t)$ thu được từ cùng một nguồn phát tín hiệu nhảy tần $s(t)$, độ sai lệch thời gian $\tau = D$ thì tại đó giá trị $|R_{x_1x_2}(\tau)|$ đạt cực đại chính là độ sai lệch thời gian đến của cùng một tín hiệu $s(t)$ đến hai bộ thu,

xác định được vị trí ước lượng của nguồn phát tín hiệu từ các cặp giá trị sai lệch khoảng cách $\Delta r_{21}, \Delta r_{31}, \Delta r_{32}$ và thông qua quá trình chia mắt lưới đơn giản, bằng cách làm cho hàm độ sai lệch khoảng cách đạt giá trị cực tiểu theo công thức:

$$(\overline{\Delta x}, \overline{\Delta y}) = \min_{(\Delta x, \Delta y)} \sum_{i,j=1}^3 |\delta r_{ij} - \Delta r_{ij}|$$

trong đó $(\overline{\Delta x}, \overline{\Delta y})$ là tọa độ vị trí của nguồn phát nhảy tần, $\Delta r_{21}, \Delta r_{31}, \Delta r_{32}$ là các cặp giá trị sai lệch, δr_i là khoảng cách từ các vị trí nguồn phát nhảy tần ước lượng tới bộ thu;

môđun hiển thị để hiển thị tọa độ vị trí của nguồn phát nhảy tần.

2. Phương pháp xác định nguồn phát tín hiệu nhảy tần dựa trên kết hợp định hướng nguồn phát và tính toán độ lệch thời gian tới bao gồm các bước:

bước 1: thu nhận các tín hiệu nhảy tần bởi khối xử lý tín hiệu cao tần, và tính toán góc tới của nguồn phát tín hiệu khối định hướng nguồn phát DF (Direction Finding), trong đó:

khối xử lý tín hiệu cao tần này sử dụng ăng ten tròn định hướng gồm N chấn tử để thu nhận tín hiệu I/Q (in-phase/quadrature) cao tần với băng thông rộng (vài chục MHz đến vài trăm MHz), và có khối chuyển mạch cao tần để lựa chọn theo chu kỳ đều đặn lần lượt hai trong số N kênh, sau đó tín hiệu cao tần từ hai kênh được đưa xuống băng cơ bản sử dụng bộ chuyển đổi ADC có chức năng là bộ chuyển đổi băng rộng của nhiều nguồn phát khác nhau, sử dụng bộ lọc thông

thấp FIR (Finite Impulse Response) để loại bớt nhiễu, nâng cao độ nhạy, và sử dụng môđun CIC (Cascaded Integrated Comb) làm giảm tần số lấy mẫu để giảm dung lượng đường truyền dữ liệu qua mạng, tăng tốc độ tính toán hệ thống, và

khối định hướng nguồn phát DF thực hiện:

tính toán độ lệch pha tiêu chuẩn giữa kênh thứ n và kênh thứ nhất, $\alpha_{n1}^0(\theta, \lambda)$ được tính toán với các góc tới tiêu chuẩn θ và bước sóng λ khác nhau theo công thức:

$$\alpha_{n1}^0(\theta, \lambda) = \frac{2\pi}{\lambda} L_{n1} \cos(\alpha_{n1})$$

trong đó α_{n1} là góc tương quan giữa hướng tới của tín hiệu nhảy tần với đường kết nối giữa kênh thứ n và kênh thứ nhất, L_{n1} là khoảng cách giữa kênh thứ n và kênh đầu tiên,

tính toán độ lệch pha thực tế $\overline{\alpha_{n1}(\lambda)}$ của tín hiệu đến trên hai kênh khác nhau của ăngten UCA bằng cách tính toán tương quan giữa hai tín hiệu $y_n(t)$ và $y_1(t)$ thu được tại kênh thứ n và kênh 1 của nguồn phát tín hiệu nhảy tần theo công thức:

$$\overline{\alpha_{n1}(\lambda)} = \frac{2\pi}{\lambda} * \text{angle} \left(\sum_{t=1}^T [y_n(t) y_1^*(t)] \right),$$

tính toán tương quan giữa độ lệch pha thực tế với độ lệch pha chuẩn đối với từng góc tới thử nghiệm sao cho góc tới thử nghiệm nào làm cho hàm tương quan hình học dưới đây đạt giá trị cực đại được xem là giá trị ước lượng góc tới của nguồn phát tín hiệu nhảy tần AOA (Angle of Arrival) theo công thức:

$$AOA = \bar{\theta} = \max_{\theta} \sum_{n=2}^N \left[\frac{1}{\left(\overline{\alpha_{n1}(\lambda)} - \alpha_{n1}^0(\theta, \lambda) \right)^2} \right];$$

bước 2: phân tách và nhóm các nguồn phát tín hiệu nhảy tần bởi khối định hướng nguồn phát DF nhờ thực hiện phân biệt các nguồn phát nhảy tần dựa trên góc tới của tín hiệu nhảy tần và nhóm lại các tín hiệu nhảy tần có chung một góc tới thành một nhóm tín hiệu nhảy tần, nhóm tín hiệu nhảy tần này đặc trưng cho một nguồn phát nhảy tần, trong đó các tín hiệu nhảy tần trong cùng một nhóm được lựa chọn có chung góc tới AOA và thời gian các tín hiệu phải liên tiếp nhau, được nhận biết thông qua các nhãn thời gian liên tiếp nhau;

bước 3: xác định vị trí nguồn phát nhảy tần bởi khối tính toán độ sai lệch thời gian tới TDOA (Time Difference of Arrival) thông qua tính toán giá trị độ trễ thời gian bằng phương pháp tương quan chéo, và định vị nguồn phát nhảy tần trên máy chủ, trong đó:

tín hiệu I/Q sau ghép nối tương ứng với một nguồn phát tín hiệu nhảy tần sẽ được gửi về máy chủ đối với tất cả các bộ thu, từ đó xác định giá trị độ trễ thời gian tới các bộ thu từ một nguồn phát nhảy tần bằng phương pháp tương quan chéo sử dụng công thức:

$$R_{x_1x_2}(\tau) = E[x_1(t)x_2(t-\tau)] = x_2(t)x_1^*(t)$$

trong đó $R_{x_1x_2}(\tau)$ là giá trị độ trễ thời gian tới, $x_1(t)$ và $x_2(t)$ là hai tín hiệu thu được từ cùng một nguồn phát tín hiệu nhảy tần $s(t)$, τ là độ lệch thời gian,

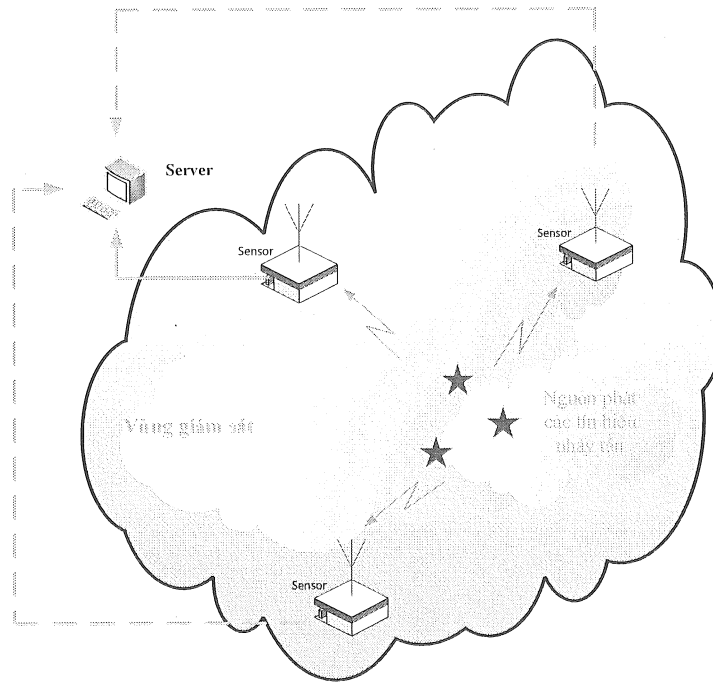
đối với hai tín hiệu $x_1(t)$ và $x_2(t)$ thu được từ cùng một nguồn phát tín hiệu nhảy tần $s(t)$, độ sai lệch thời gian $\tau = D$ thì tại đó giá trị $|R_{x_1x_2}(\tau)|$ đạt cực đại chính là độ sai lệch thời gian đến của cùng một tín hiệu $s(t)$ đến hai bộ thu,

xác định được vị trí ước lượng của nguồn phát tín hiệu từ các cặp giá trị sai lệch khoảng cách $\Delta r_{21}, \Delta r_{31}, \Delta r_{32}$ và thông qua quá trình chia mắt lưới đơn giản, bằng cách làm cho hàm độ sai lệch khoảng cách đạt giá trị cực tiểu theo công thức:

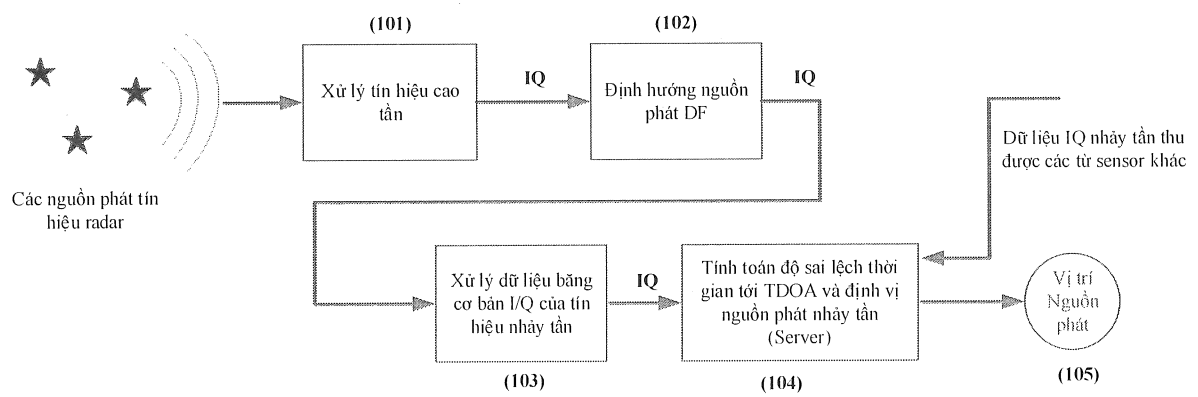
$$(\overline{\Delta x}, \overline{\Delta y}) = \min_{(\Delta x, \Delta y)} \sum_{i,j=1}^3 |\delta r_{ij} - \Delta r_{ij}|$$

trong đó $(\overline{\Delta x}, \overline{\Delta y})$ là tọa độ vị trí của nguồn phát nhảy tần, $\Delta r_{21}, \Delta r_{31}, \Delta r_{32}$ là các cặp giá trị sai lệch, δr_i là khoảng cách từ các vị trí nguồn phát nhảy tần ước lượng tới bộ thu,

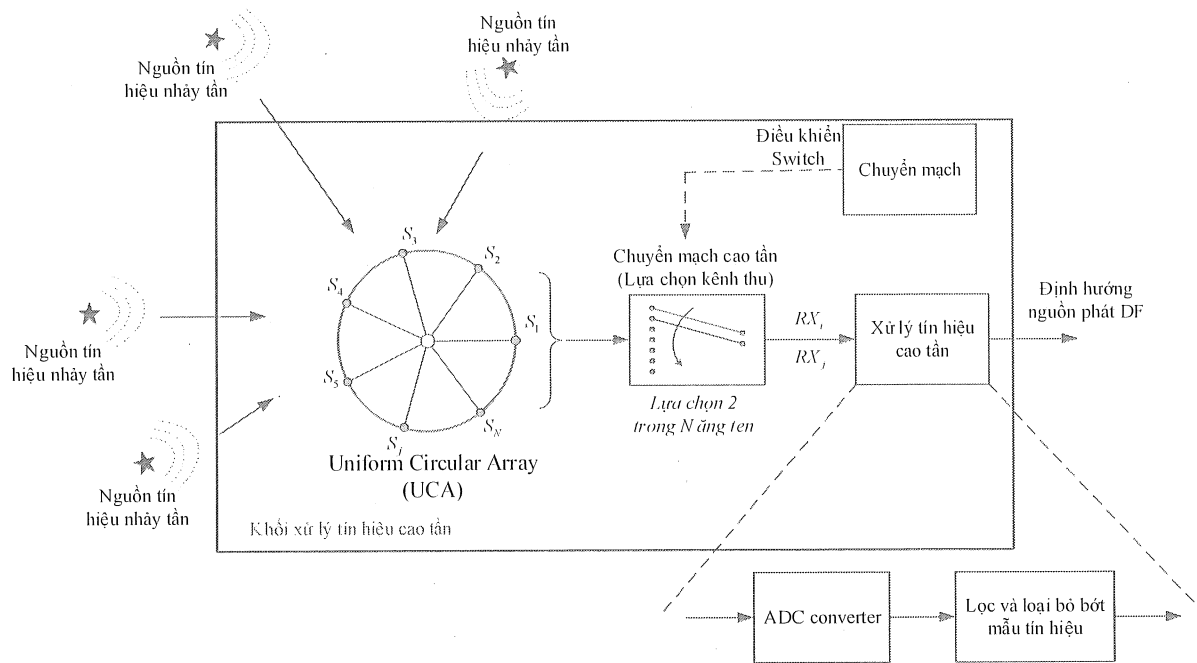
hiển thị tọa độ vị trí của nguồn phát nhảy tần trên môđun hiển thị.



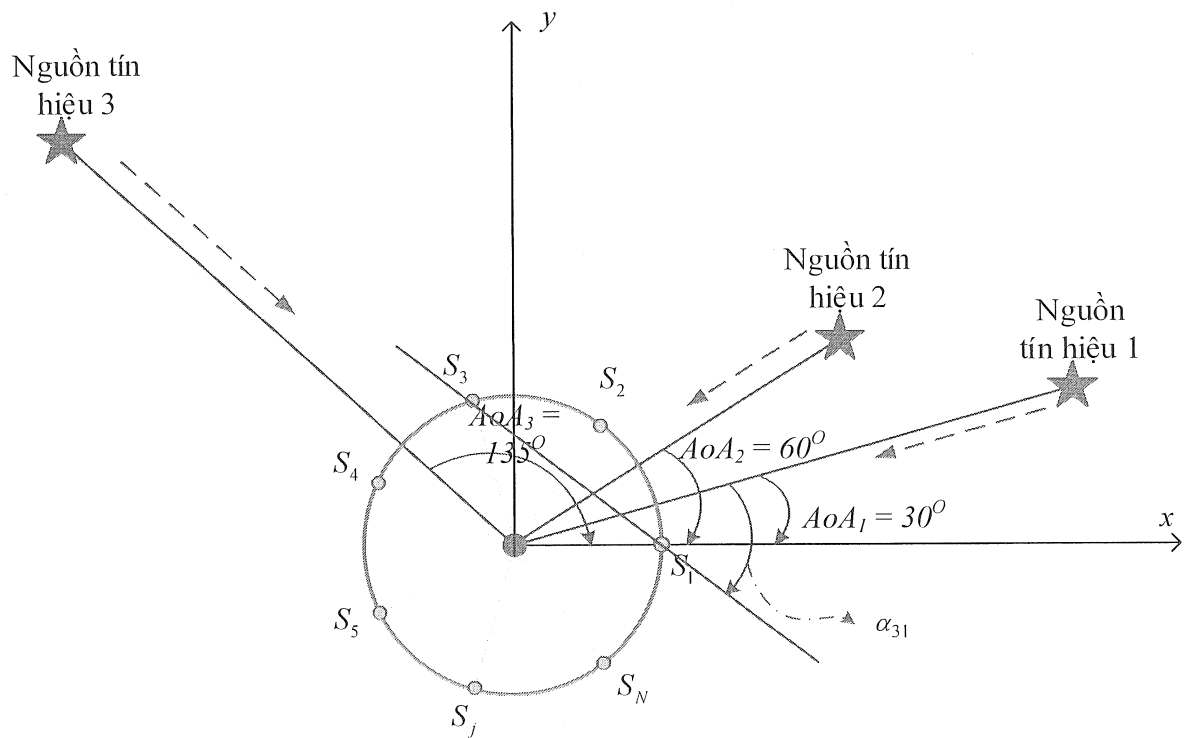
Hình 1



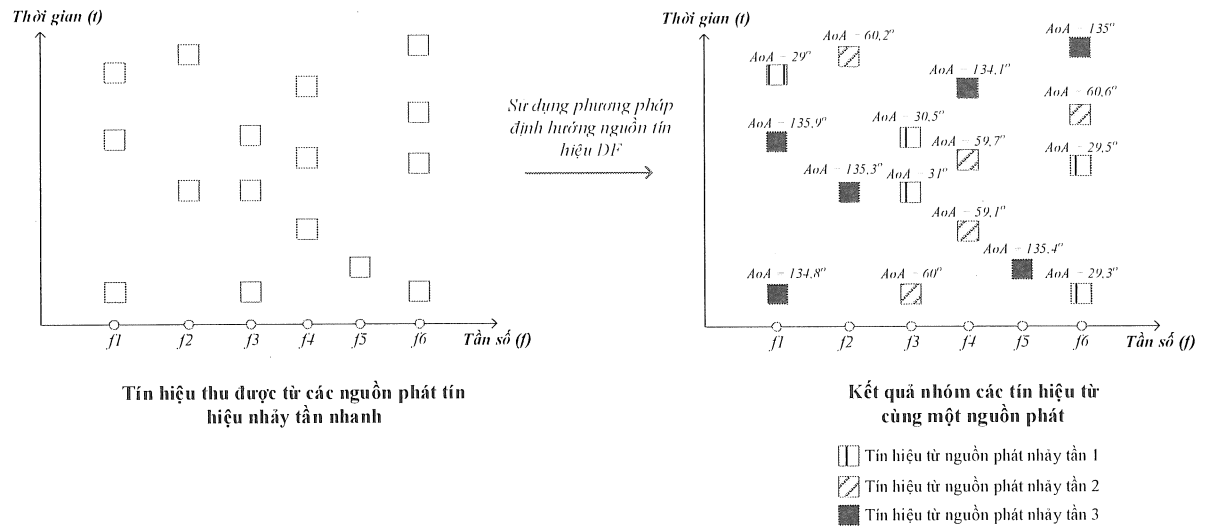
Hình 2



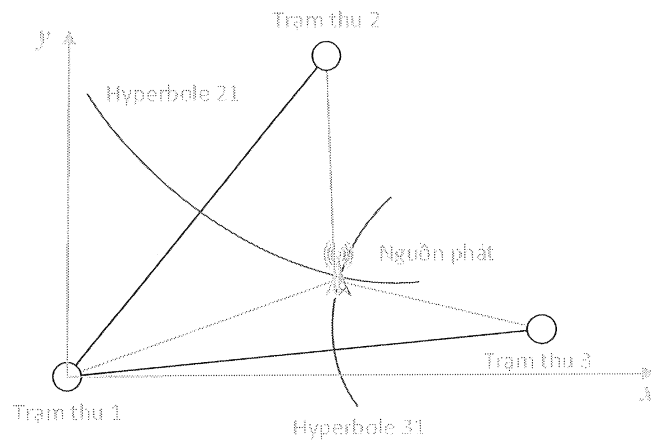
Hình 3



Hình 4



Hình 5



Hình 6

*Tín hiệu băng rộng của hàng
chục - hàng trăm nguồn phát
nhảy tần khác nhau*

Bước 1: Tính toán góc tới của
nguồn phát tín hiệu DF

Bước 2: Phân tách và nhóm các
nguồn phát tín hiệu nhảy tần

Bước 3: xử lý dữ liệu bằng cơ bản
I/Q của tín hiệu nhảy tần

Bước 4: xác định vị trí nguồn phát
nhảy tần thông qua tính toán giá trị
độ trễ thời gian bằng phương pháp
tương quan chéo (Cross-
correlation)

*Vị trí của tất cả các nguồn
phát nhảy tần*

Hình 7