

HỆ THỐNG ĐỊNH VỊ ĐA ĐIỂM VÀ ỨNG DỤNG GIÁM SÁT VỊ TRÍ

Nguyễn Đức Việt

Học viện Công nghệ Bưu Chính Viễn Thông

Tóm tắt: Hệ thống định vị đa điểm MLAT (Multilateration) được biết đến như một biến thể của hệ thống định vị dùng thuật toán TDOA (Time Difference of Arrival), trong đó vị trí của mục tiêu được xác định dựa vào sự khác biệt về thời gian tới TOA (Time of Arrival) của tín hiệu từ mục tiêu tới các trạm thu đặt trong vùng không gian quan sát. Bài báo này đề xuất một ứng dụng của hệ thống MLAT khi xác định vị trí các xe taxi bằng hệ thống bộ đàm truyền thông. Ứng dụng này được dùng trong các điều kiện khi không thể áp dụng các phương pháp xác định vị trí khác như: phương pháp định vị dùng tín hiệu GPS, định vị theo các tế bào trong kỹ thuật điện thoại di động ...

Từ khóa: MLAT, TDOA, TOA, giám sát vị trí, GPS...

I. GIỚI THIỆU CHUNG

Hiện nay nhu cầu cần phải giám sát vị trí của các phương tiện giao thông là rất cần thiết, nó phục vụ cho công tác giám sát, điều hành, can thiệp, tìm kiếm, cứu hộ, cứu nạn... được nhanh chóng và chính xác.

Bên cạnh một phương thức khá phổ biến hiện nay là xác định vị trí của mục tiêu dựa trên tín hiệu định vị vệ tinh GPS (Global Positioning System). Một phương thức định vị vị trí khác cũng được biết đến đó là định vị theo các trạm tế bào của hệ thống Viễn thông, tuy nhiên tồn tại một hạn chế của những phương pháp này đó là phụ thuộc hoàn toàn vào tín hiệu của các vệ tinh và hoạt động của các hệ thống viễn thông di động. Khi gặp các thiên tai như mưa bão, lũ lụt, sạt lở thì thường là các hệ thống này bị sự cố hoặc ngừng hoạt động.

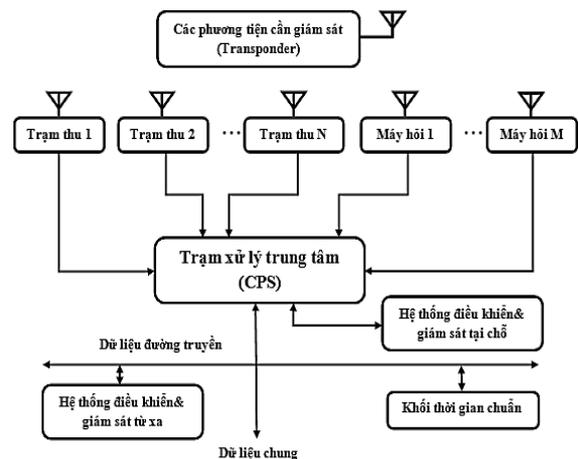
Hệ thống dùng N trạm thu và một trạm phát tín hiệu hội để thu thập thông tin vị trí của một hay nhiều mục tiêu cần giám sát ra đời nhằm đáp ứng nhu cầu này, hệ thống này được biết đến với tên gọi là hệ thống MLAT, mô hình cơ bản của hệ thống được trình bày ở hình 1 dưới đây [8]:

Thành phần của hệ thống bao gồm:

- Các trạm thu từ trạm thứ 1 đến trạm thứ N, là nơi tiếp nhận tín hiệu trả lời từ các Transponder (trên tàu bay hoặc các phương tiện cần giám sát) sau khi nhận được tín hiệu hỏi từ máy hỏi của đài ra đa thứ cấp SSR (Secondary Surveillance Radar). Căn cứ vào tín hiệu đồng bộ và tín hiệu trả lời từ các Transponder, các

trạm thu sẽ có kết quả là các tín hiệu TOA để gửi về trạm xử lý trung tâm CPS (Central Processing Subsystem).

- Các Transponder (máy trả lời tích cực) được gắn trên các tàu bay và các phương tiện cần giám sát có nhiệm vụ phát trả tín hiệu trả lời (có cấu trúc nhất định) khi nhận được tín hiệu hỏi từ máy hỏi của đài ra đa thứ cấp.
- Máy hỏi là thiết bị được trang bị trên các đài ra đa thứ cấp tại sân bay (với các sân bay không có đài ra đa thứ cấp thì máy hỏi được trang bị như một thiết bị độc lập). Máy hỏi phát ra tín hiệu hỏi theo lệnh từ trạm CPS hay có thể hỏi theo chu kỳ lập sẵn tùy theo cấu trúc từng hệ thống MLAT.
- Trạm xử lý trung tâm CPS (Central Processing Subsystems) là nơi tiếp nhận và xử lý, tính toán vị trí của các mục tiêu (tàu bay hoặc các xe chuyên dụng), tính toán này dựa trên các TOA của các trạm thu thu được, vì vậy phương pháp tính này còn có tên gọi là phương pháp Hypecbol.



Hình 1. Hệ thống MLAT cơ bản

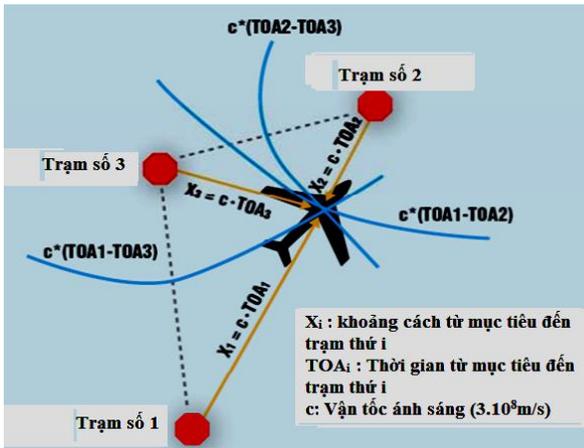
1.1 Thuật toán TDOA và cách tính tọa độ mục tiêu

Thuật toán TDOA được ứng dụng nhiều trong các bài toán xác định vị trí của các mục tiêu, nó dựa trên sự sai khác về thời gian tới TOA của tín hiệu trả lời từ mục tiêu đến các trạm thu trong hệ thống, để tính toán ra vị trí của mục tiêu nhờ giao điểm của các Hypecbol, mỗi Hypecbol này có 2 tâm điểm chính là vị trí của các trạm thu [5]. Phương pháp này được minh họa với ba trạm thu ở hình vẽ số 2

Tác giả liên hệ: Nguyễn Đức Việt,

Email: vietnd@ptit.edu.vn

Đến tòa soạn: 8/2022, chỉnh sửa: 9/2022, chấp nhận đăng: 10/2022.

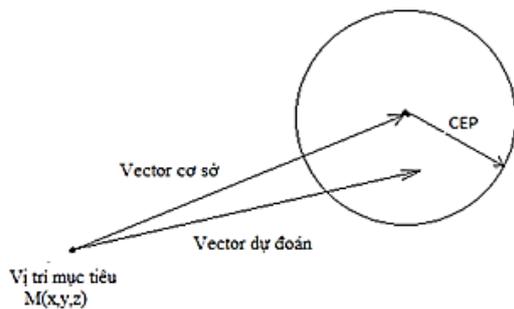


Hình 2. Phương pháp Hypecbol 3 trạm thu

Sai số khi xác định tọa độ bằng phương pháp TDOA được đánh giá bằng các tham số sau [8]:

- Đường tròn xác suất sai số CEP (Circular Error Probability);
- Sai số hình học GDOP (Geometric Dilution of Precision);
- Sai số trung bình bình phương MSE (Mean Squared Error).

Trong đó tham số đường tròn sai số CEP thường được áp dụng cho hệ thống MLAT, nó được biểu diễn theo hình vẽ dưới đây



Hình 3. Đường tròn sai số CEP

Chúng ta nhận xét rằng diện tích của đường tròn với bán kính là CEP càng nhỏ thì sai lệch giữa vector dự đoán và vector cơ sở càng ít, hay sai số của hệ thống càng nhỏ. Như vậy CEP là một tham số dùng để đánh giá sai số của hệ thống khi xác định vị trí của mục tiêu. Theo [8] ta có:

$$CEP \cong 0,75 \sqrt{\delta_x^2 + \delta_y^2} \quad (1)$$

Với δ_x^2 và δ_y^2 là những giá trị sai lệch vị trí theo x và y của vị trí mục tiêu.

1.2 Phương thức hoạt động của hệ thống giám sát đa điểm MLAT.

Hệ thống giám sát ở hình một hoạt động như sau:

Một trạm phát sóng làm nhiệm vụ phát ra một tín hiệu hỏi có tần số là 1030Mhz vào không gian, cấu trúc

của tín hiệu này được tính toán theo yêu cầu của mục đích hỏi (hỏi có địa chỉ tức là hỏi một đối tượng có ID biết trước hay hỏi quảng bá chung cho mọi đối tượng nằm trong vùng phủ sóng)

Khi bộ phận Anten trên các thiết bị Transponder (được lắp trên các phương tiện cần giám sát) nhận được tín hiệu hỏi có tần số 1030Mhz của máy hỏi, ngay lập tức thiết bị này phát một tín hiệu trả lời có tần số 1090Mhz, tùy thuộc vào cấu trúc của tín hiệu hỏi mà tín hiệu trả lời sẽ có cấu trúc tương ứng.

Các trạm thu sẽ thu nhận tín hiệu trả lời tần số 1090Mhz được phát ra từ các Transponder, Tại trạm thu sẽ đo được TOA của tín hiệu trả lời và gửi thông tin này đến trung tâm xử lý, tại đây sẽ đo đạc và tính toán TDOA cho ra kết quả là số hiệu và vị trí mục tiêu. Các kết quả này được xử lý, định dạng hiển thị tại chỗ và gửi đến trung tâm kiểm soát.

1.3 Các cấu trúc tín hiệu hỏi và đáp của hệ thống [6]

1.3.1 Chế độ hỏi / đáp quảng bá (A/C)

Trong chế độ này trạm phát thông qua hệ thống Anten quay phát xạ một tín hiệu hỏi ở tần số 1030MHZ [8], các phương tiện nằm trong vùng phủ sóng của trạm phát sau khi thu nhận được tín hiệu hỏi này sẽ tiến hành xử lý thông tin và phát đáp một tín hiệu trả lời ở tần số 1090MHZ, tín hiệu phát đáp này được gọi là tín hiệu phát đáp chế độ A/C, trong đó các thông tin về mục tiêu được chứa đựng trong mã A, các thông tin về độ cao được chứa đựng trong mã C.

Một trong những nhược điểm của tín hiệu hỏi/ đáp ở chế độ mode A/C đó là các tín hiệu mã hóa A là không phải duy nhất dẫn đến nhầm lẫn về nhận dạng mục tiêu. Khi có quá nhiều phương tiện nằm trong vùng phủ sóng của trạm phát cùng nhận được tín hiệu hỏi và gửi tín hiệu trả lời, dẫn đến lỗi do tốc độ cập nhật của hệ thống MLAT không đáp ứng được hay băng thông của các kênh truyền dẫn dữ liệu bị quá tải (nghe ãn mạng) và gây ra các lỗi sai số.

Phạm vi của các tín hiệu ở chế độ này là vào khoảng 250 NM (khoảng 400Km), tuy nhiên nó còn phụ thuộc vào sự tổn hao trong khi truyền và mật độ lưu lượng giao thông trong vùng phủ sóng.

1.3.2 Chế độ hỏi /đáp có chọn lọc S (S – Seleccion)

Hoạt động của hệ thống ở chế độ S tương tự như của hệ thống ở chế độ mode A/C. Các đặc tính vật lý và những hạn chế về tín hiệu là như nhau so với các đặc tính vật lý và những hạn chế của các tín hiệu của hệ thống ở chế độ A / C. Tín hiệu của hệ thống ở chế độ S cũng là một tín hiệu có tần số 1090 MHz được phát trả lời khi nhận được tín hiệu hỏi tần số 1030 MHz.

Sự khác biệt chủ yếu so với các tín hiệu hệ thống ở chế độ A / C là chế độ S cho phép hỏi có chọn lọc, tức là chế độ S chỉ thăm vấn những phương tiện được quan tâm. Việc hỏi có chọn lọc được thực hiện là mỗi một phương tiện đều có một nhận dạng duy nhất trên phạm vi toàn cầu đó là địa chỉ ICAO [8]. Do đó, hệ thống ở chế độ S thăm vấn chỉ duy nhất một phương tiện riêng biệt nào đó. Địa chỉ ICAO được tạo bởi 24bit và để gửi đi loại tín hiệu này phương tiện phải được trang bị thiết bị thu nhận và phát tín hiệu lại chế độ S. Tín hiệu trả lời ở chế độ S được tạo thành từ một chuỗi xung, được điều chế trên sóng mang tần số 1090 MHz, theo tiêu chuẩn mà ICAO khuyến cáo [8].

Việc sử dụng các tín hiệu chế độ mode S cho phép các hệ thống MLAT xác định rõ ràng từng mục tiêu hiện diện trong vùng phủ sóng của nó. Hơn nữa, thông tin về độ cao của tín hiệu trả lời chế độ mode S có độ phân giải cao hơn (25 feet) so với chế độ mode A/C là (100 feet).

Tốc độ cập nhật của hệ thống ở chế độ này vẫn còn thấp, tuy nhiên do việc hỏi có chọn lọc nên tốc độ cập nhật tốt hơn so với chế độ mode A/C

Phạm vi của các tín hiệu ở chế độ này cũng giống như ở mode A/C tức là khoảng 400Km. Tuy nhiên cự ly thực tế còn phụ thuộc vào tổn hao trong khí quyển và mật độ lưu lượng giao thông trong vùng phủ sóng.

1.3.3 Chế độ mode S Squitter

Tất cả những phương tiện được trang bị thiết bị Transponder chế độ mode S đều có thể hoạt động ở chế độ này, khi đó các Transponder tự động phát các bản tin chứa các thông tin về địa chỉ ICAO của mình với chu kỳ một giây một lần, mà không cần phải có bất kỳ tín hiệu hỏi nào của hệ thống. Tín hiệu Squitter chế độ mode S cho phép triển khai hệ thống MLAT mà không cần tới tín hiệu hỏi của trạm phát. Chế độ này được gọi là MLAT thụ động và nó chỉ áp dụng cho chế độ mode S.

Các tín hiệu Squitter chế độ S tương tự về mặt vật lý so với các tín hiệu của hệ thống SSR chế độ S, chỉ khác biệt duy nhất về tốc độ cập nhật. Nội dung thông báo, giới hạn và phạm vi hoạt động là như nhau.

Như vậy: Với ba cấu trúc tín hiệu đã xét ở trên, mỗi một cấu trúc tín hiệu sẽ phù hợp với các mục đích, quy mô của hệ thống MLAT, với hệ thống có số phương tiện nhỏ (vài chục phương tiện) thì cấu trúc A/C sẽ phù hợp, với hệ thống có số lượng phương tiện lớn hơn (vài trăm phương tiện) thì cấu trúc S sẽ phù hợp, hơn nữa nếu tốc độ tính toán của các trạm trung tâm được nâng lên đáng kể thì cấu trúc S-Squitter cho phép triển khai mà không cần dùng đến các trạm phát trong hệ thống. Với hệ thống

giám sát các phương tiện là xe ô tô (đối tượng cần giám sát đặc biệt) nên sẽ chọn cấu trúc tín hiệu là chế độ A/C.

1.4 Tính toán vùng phủ sóng (phạm vi hoạt động của hệ thống) [1]

1.4.1 Cự ly hoạt động khi hỏi

Máy phát của trạm phát xạ tín hiệu hỏi với công suất P_{phH} ra anten của nó, (anten này có hệ số khuếch đại là G_H). Tín hiệu hỏi truyền lan qua khoảng cách r tới các Transponder có anten với diện tích hiệu dụng là A_{TL} , lúc này Transponder sẽ thu được tín hiệu hỏi với công suất P_{thuTL} ở đầu vào anten:

$$P_{thuTL} = \frac{P_{phH}}{4\pi r^2} G_H \cdot A_{TL} \quad (2)$$

Nếu anten của Transponder có hệ số khuếch đại là G_{TL} và bước sóng làm việc của hệ thống radar thứ cấp là λ thì:

$$A_{TL} = \frac{G_{TL} \cdot \lambda^2}{4\pi} \quad (3)$$

Kết hợp (2) và (3) ta có:

$$P_{thuTL} = \frac{P_{phH}}{(4\pi)^2 r^2} G_H \cdot G_{TL} \cdot \lambda^2 \quad (4)$$

$$A = \frac{1}{(4\pi)^2} G_H \cdot G_{TL} \cdot \lambda^2$$

Đặt:

Ta được:

$$P_{thuTL} = \frac{P_{phH}}{r^2} A \quad (5)$$

Công suất P_{thu} ở đầu vào của Transponder đủ kích hoạt máy trả lời nếu $P_{thu} \geq P_{thu\ min\ TL}$ với $P_{thu\ min\ TL}$ là độ nhạy máy thu của trạm thu. Do vậy cự ly cực đại để có thể còn kích hoạt được Transponder là:

$$r_{1\ max} = \sqrt{\frac{P_{phH} \cdot A}{P_{thu\ min\ TL}}} \quad (6)$$

1.4.2 Cự ly hoạt động khi trả lời

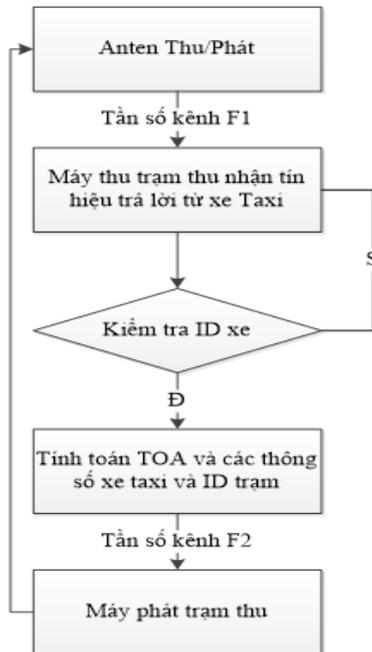
Khi bị kích hoạt với tín hiệu hỏi đủ lớn Transponder sẽ phát tín hiệu trả lời có công suất là P_{phTL} . Khi đó ở máy thu của trạm thu sẽ thu được tín hiệu trả lời ở đầu vào với công suất:

$$P_{thuH} = \frac{P_{phTL} \cdot A}{r^2} \quad (7)$$

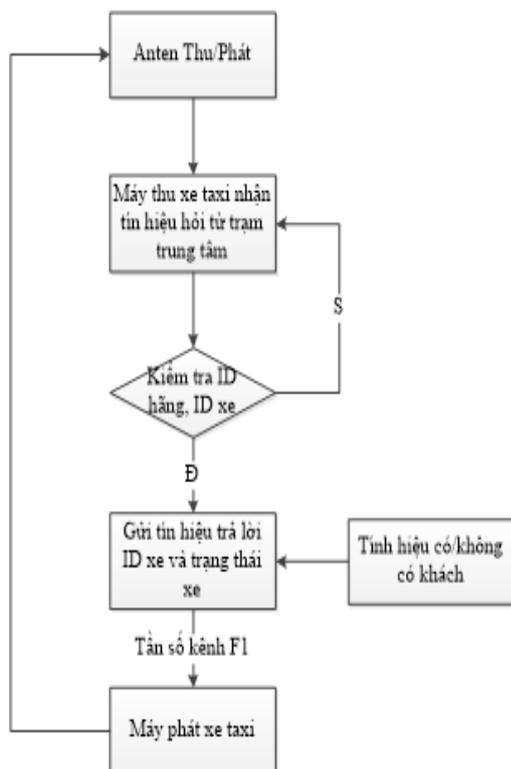
Để có thể giải mã tín hiệu trả lời thì công suất tín hiệu trả lời thu được phải lớn hơn độ nhạy máy thu của trạm thu: $P_{thuH} \geq P_{thu\ min\ H}$. Do vậy cự ly cực đại để có thể nhận và giải mã được tín hiệu trả lời là:

Các đối tượng quản lý và người sử dụng là quản lý hãng và nhân viên điều hành sẽ ra các quyết định tương thích (gọi xe và thông báo địa điểm đón khách).

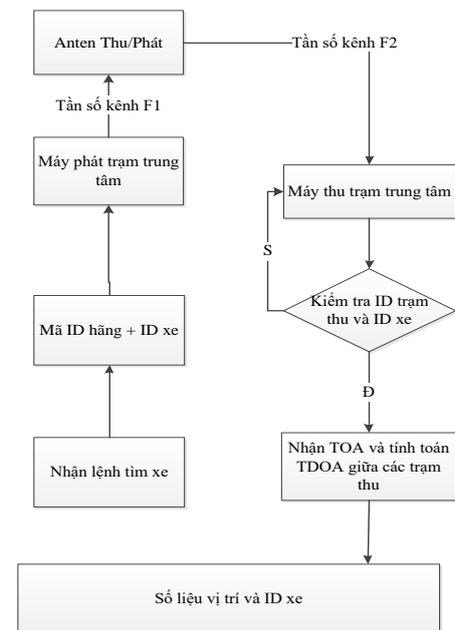
Các thuật toán làm việc của các trạm thu, xe taxi, trạm điều hành lần lượt được trình bày ở các hình số 6,7 và 8 dưới đây:



Hình 6. Thuật toán mô tả làm việc của trạm thu



Hình 7. Thuật toán mô tả làm việc của taxi



Hình 8. Thuật toán mô tả làm việc của trạm trung tâm

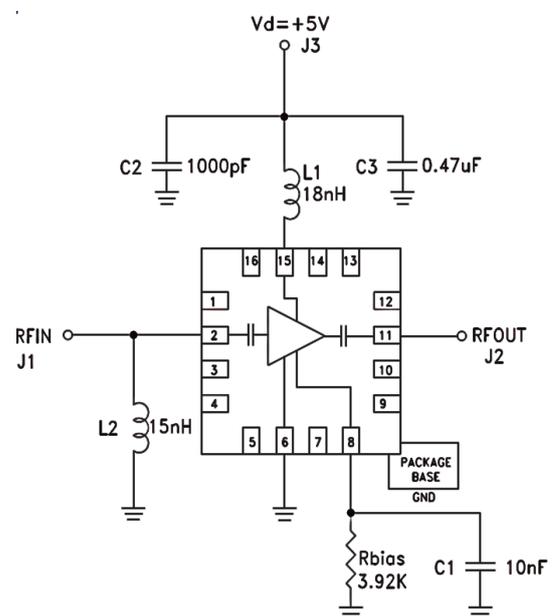
2.3 Chế tạo và thử nghiệm hệ thống

Trong khuôn khổ có hạn của bài báo này, chúng tôi xin trình bày thiết kế các mạch cho phần thu và khuếch đại tín hiệu điều chế số.

Máy thu của hệ thống bộ đàm cũ (phục vụ tín hiệu thoại) không đáp ứng được các tham số về giải tần cũng như hệ số khuếch đại, vì vậy hệ thống mới cần phải có một mạch thu riêng để tách được tín hiệu điều chế số

2.3.1 Mạch khuếch đại cao tần

Mạch khuếch đại cao tần nằm ở ngay sau chuyển mạch Anten của máy thu phát, với nhiệm vụ khuếch đại tín

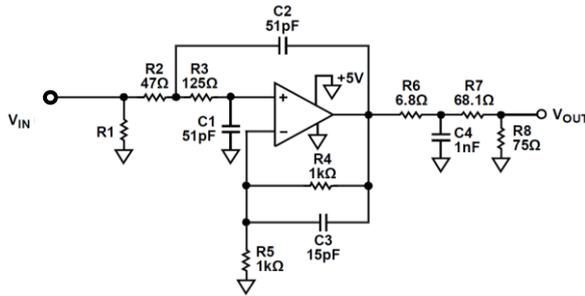


Hình 9. Sơ đồ nguyên lý mạch khuếch đại cao tần

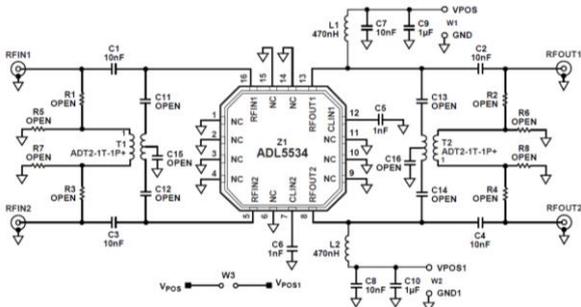
hiệu có biên độ nhỏ nhận được từ anten lên đủ lớn để đưa sang phần khuếch đại trung tần, với ứng dụng cho nhiệm vụ này bộ khuếch đại này cần có giải tần làm việc trong khoảng từ 150 Mhz – 450 Mhz

2.3.2 Mạch khuếch đại trung tần và âm tần

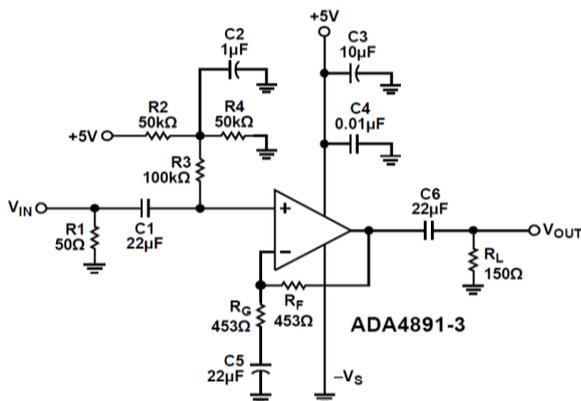
Tín hiệu sau khi đi qua mạch khuếch đại cao tần sẽ được đi qua mạch lọc trung tần và đưa đến tầng khuếch đại trung tần, trong một hệ thống máy thu thì hệ số khuếch đại được thực hiện chủ yếu ở tầng trung tần vì kỹ thuật không phức tạp như cao tần hay âm tần, hình 10,11 dưới đây mô tả mạch lọc trung tần và khuếch đại âm tần



Hình 10. Sơ đồ nguyên lý mạch lọc trung tần



Hình 11. Sơ đồ nguyên lý mạch khuếch đại trung tần



Hình 12. Sơ đồ nguyên lý mạch khuếch đại âm tần

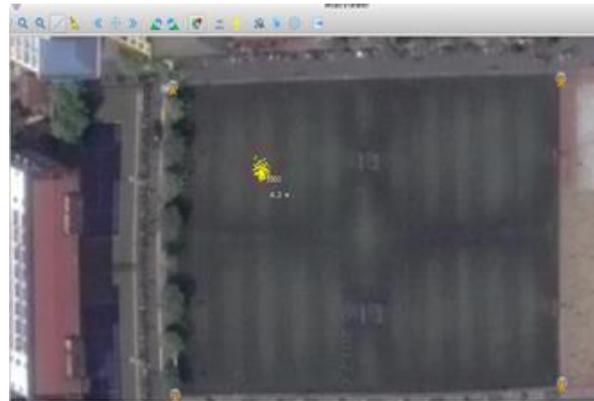
Tín hiệu âm tần sau khi được lọc sẽ đưa đến bộ tính toán và cho ta các thông số cần thiết của mỗi trạm thu

Kết quả thực tế triển khai hệ thống tại một sân vận động cho thấy vị trí của phương tiện được xác định xung

quanh vị trí thật của phương tiện với sai số lớn nhất 4.2m, minh họa ở hình 13.

Bảng 1. Tọa độ các trạm trong hệ thống

STT	Tên trạm	Kinh độ	Vi độ	Độ cao
1	Trạm trung tâm	105.785	21.0483	0
2	Trạm số 1	105.786	21.0477	0
3	Trạm số 2	105.785	21.0477	0
4	Trạm số 3	105.785	21.0486	0
5	Trạm số 4	105.786	21.0486	0



Hình 9. Kết quả giám sát trên màn hình trạm trung tâm

III. KẾT LUẬN

Bài báo này trình bày về một hệ thống định vị đa điểm MLAT (Multilateration), ứng dụng trên hệ thống liên lạc bộ đàm của các hãng taxi để xác định vị trí của các xe taxi trong hệ thống, phục vụ công tác điều hành và giám sát.

Bài báo đã trình bày kết quả là thiết kế phần máy thu dùng cho phần xử lý tín hiệu điều chế số với các mạch chức năng như: khuếch đại cao, trung và âm tần, khi cải tiến máy thu của hệ thống bộ đàm để phục vụ việc tính toán và giám sát vị trí phương tiện

Bài báo này là tài liệu tham khảo khi triển khai các hệ thống giám sát trên nền tảng thuật toán TDOA và nguyên lý hoạt động của hệ thống MLAT.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Phan Anh. Lý thuyết và kỹ thuật anten, NXB Khoa học Kỹ thuật, Hà Nội, 2007.
- [2] Phan Anh. Giáo trình Lý thuyết và Kỹ thuật siêu cao tần, NXB ĐHQG Hà Nội, 2000.
- [3] Phạm Minh Việt. Kỹ thuật siêu cao tần, NXB Khoa học Kỹ thuật, Hà Nội. 2002.
- [4] Nguyễn Đức Việt, Trịnh Đăng Khánh, Tối ưu hóa thiết kế hệ thống giám sát phương tiện tại sân bay bằng ra đa thụ động, Khoa học và Kỹ thuật Khoa học và Kỹ thuật, Học viện Kỹ thuật Quân sự, số 179, 2016

- [5] Pplk. Ing. Petr Hubáček. Optimalizace topologie TDOA systémů hlediska přesnosti určení polohy cíle. Disertační práce, Brno, 2010.
- [6] M. L. Wood, "Propagation of Mode S Beacon Signals on the Airport Surface", MIT Lincoln Laboratory Journal, vol. 2, 1989.
- [7] K.C.Ho and Y.T. Chan, "Geolocation of a Known Altitude Object From TDOA and FDOA Measurements", IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, Vol. 33, No. 3, pp. 770-783, July 1997.
- [8] IvanA. Mantilla Gaviria, "New Strategies to Improve Multilateration Systems in the Air Traffic Control", Valencia, Spain 2013.

MULTILATERATION SYSTEM IN LOCATION SURVEILLANCE APPLICATION

Abstract: MLAT (Multilateration) is known as a variant of TDOA (Time Difference of Arrival) navigation system, in which the position of the target is determined based on the difference in arrival time of the signal from

target to the receiving stations located in the observation space. This paper proposes an application of the MLAT system in determining the location of taxis by using a traditional radio system. This application proves to be effective in cases where it is not possible to apply other methods of determining location such as: positioning using GPS signals, positioning based on cells in cell phone technology ...

Keywords: MLAT, TDOA, TOA, position surveillance, GPS.



Nguyễn Đức Việt, Nhận học vị Tiến sỹ năm 2016. Hiện công tác tại Học viện Công nghệ Bưu chính Viễn thông. Lĩnh vực nghiên cứu: Định vị vô tuyến, hệ thống giám sát Multilateration