

BÁO CÁO TÓM TẮT

Sự ra đời của công nghệ SDR đã đáp ứng nhiều yêu cầu để xử lý các vấn đề hiện nay. Các thiết bị này còn rất mới mẻ đối với chúng ta, khả năng ứng dụng của các thiết bị vô tuyến thông minh này rất lớn, trong mọi lĩnh vực và đặc biệt đối với hoạt động quân sự nhằm đáp ứng yêu cầu thông tin: “kịp thời - chính xác - bí mật - an toàn”. Do đó luận văn này sẽ tập trung đi vào nghiên cứu ứng dụng của SDR vào phát triển thiết bị viễn thông quân sự.

Để khai thác, thiết kế, sử dụng có hiệu quả các thiết bị này chúng ta cần có các kiến thức tổng quan, cơ bản về “**Software Defined Radio - SDR**”.

Chính vì vậy, tôi đã chọn luận văn: “**Ứng dụng công nghệ SDR vào phát triển thiết bị viễn thông trong quân sự**” cho luận văn tốt nghiệp của mình.

Mục tiêu của luận văn là nhằm giới thiệu tổng quan về thiết bị vô tuyến thông minh - Thiết bị vô tuyến có cấu trúc xác định bằng phần mềm (SDR), phân tích cấu trúc của SDR, từ đó đưa ra các ứng dụng phổ biến của các thiết bị vô tuyến này.

Nội dung chính của luận văn gồm 3 chương:

Chương 1: Tổng quan về SDR.

Trong chương này nêu các vấn đề tổng quan của các thiết bị vô tuyến có cấu trúc xác định bằng phần mềm như khái niệm về SDR, đặc điểm của SDR. Giới thiệu một số ứng dụng và nghiên cứu của SDR hiện nay.

Chương 2: Phân tích cấu trúc của SDR.

So sánh cấu trúc của SDR với một số thiết bị vô tuyến hiện hành, giới thiệu về các cấu trúc khác nhau, phân tích, từ đó đưa ra cấu trúc chung của SDR để phù hợp với mục đích nghiên cứu.

Chương 3: Đề xuất và thử nghiệm thiết bị viễn thông quân sự ứng dụng công nghệ SDR.

Đề xuất mô hình thiết bị viễn thông quân sự ứng dụng SDR dựa trên Yate (phần mềm thực hiện mạng truy nhập vô tuyến GSM/GPRS), thử nghiệm trên mô hình đã có và phân tích kết quả đo đạc từ thiết bị.

Sau đây là kết quả nghiên cứu từng chương:

Chương 1 - TỔNG QUAN VỀ SDR

1.1 Khái niệm cơ bản về hệ thống SDR

1.1.1 Quá trình nghiên cứu

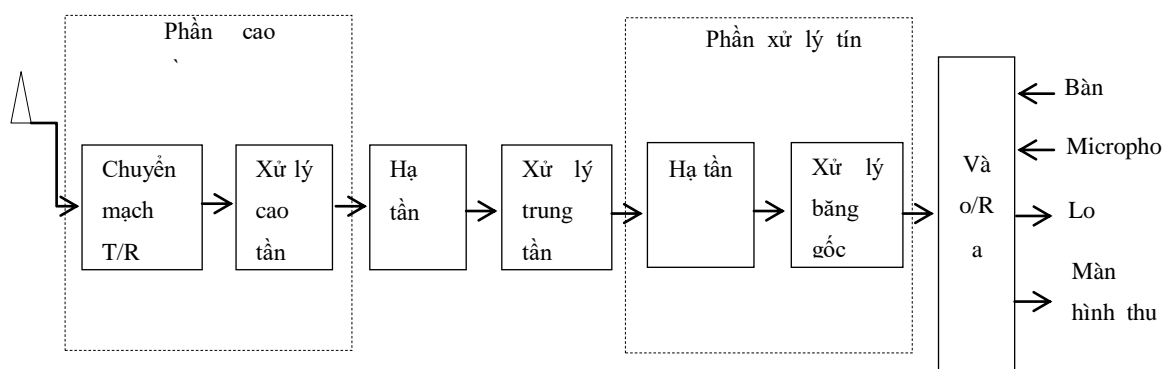
Hệ thống vô tuyến cấu hình mềm SDR được đưa ra năm 1991, tên ban đầu là “Software Radio”, còn có tên gọi khác như “Re-programmable radios” hoặc “Re-configurable radios” là thiết bị vô tuyến có thể tái cấu hình hay tái lập trình. Tên gọi thay đổi theo thời gian và tùy theo ứng dụng.

Một số nghiên cứu năm 2000 đề cập đến cách tích hợp tần số vô tuyến và một số chức năng của thiết bị khác vào SDR, các nghiên cứu khác đề cập đến chức năng của SDR để ứng dụng cho toàn bộ các công nghệ liên quan đến thiết kế tần số vô tuyến, xử lý tín hiệu và phần mềm ... Ngày nay ứng dụng của SDR còn được áp dụng cho lĩnh vực thương mại trong việc cung cấp các dịch vụ để giảm bớt nhu cầu tiêu chuẩn hóa và cải thiện các chính sách quản lý, trong các nghiên cứu của lĩnh vực quân sự...

1.1.2 Khái niệm về thiết bị vô tuyến có cấu trúc mềm SDR

Thiết bị vô tuyến có cấu trúc mềm (SDR) là thiết bị trong đó việc số hóa tín hiệu thu được thực hiện tại một tầng nào đó xuôi dòng từ anten, tiêu biểu là sau khi lọc dải rộng, khuếch đại tạp âm nhỏ và hạ tần xuống tần số thấp hơn trong các tầng tiếp theo, quá trình số hóa tín hiệu phát diễn ra ngược lại. Việc xử lý tín hiệu số trong các khối chức năng có khả năng định lại cấu hình và mềm dẻo, xác định các đặc điểm của thiết bị vô tuyến.

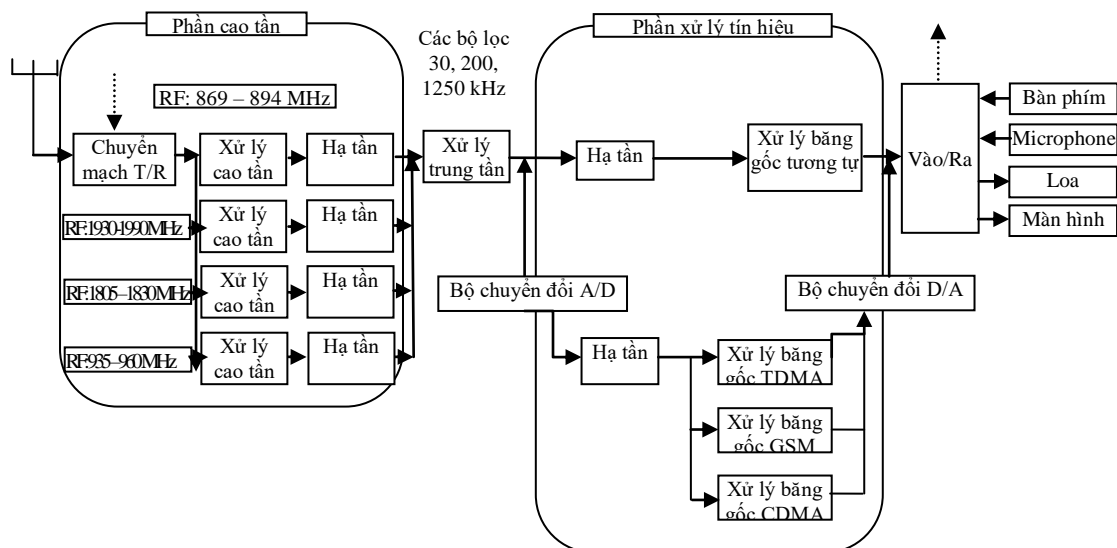
Khi công nghệ phát triển, SDR có thể tiến tới thiết bị vô tuyến thông minh, trong đó việc số hóa được thực hiện tại (hoặc rất gần) anten và tất cả quá trình xử lý yêu cầu cho thiết bị vô tuyến được thực hiện bởi phần mềm cài trong các thành phần xử lý tín hiệu số tốc độ cao. Như được minh họa trong hình 1.1.



Hình 1.1: Sơ đồ cấu trúc SDR giai đoạn 1

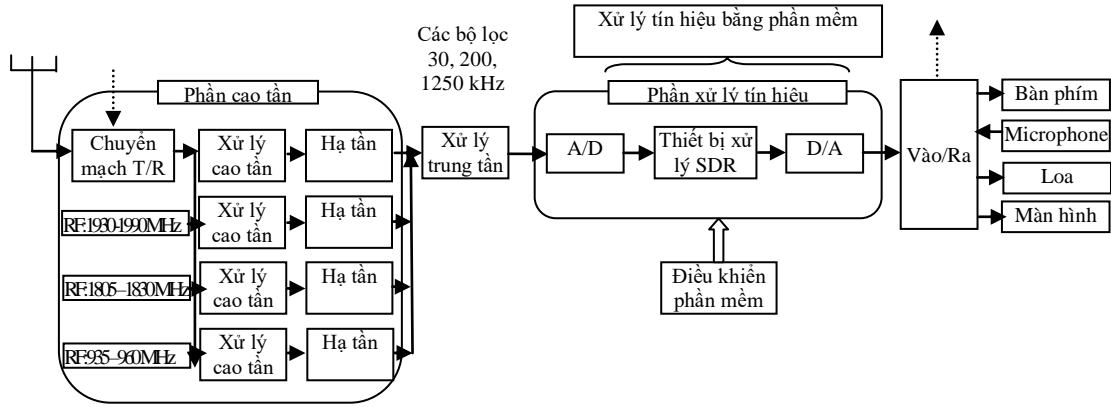
Trong thiết bị đầu cuối không dây thương mại cụ thể, như là các máy cầm tay tế bào hoặc các máy cầm tay dịch vụ truyền thông cá nhân (PCS) cần kết hợp nhiều loại giao diện công nghệ vô tuyến và các dải tần số trong thiết bị đầu cuối. Theo phương pháp thực hiện truyền thông, mỗi giao diện vô tuyến duy nhất hoặc kết hợp băng tần sẽ được xây dựng xung quanh một tập hợp các mạch ứng dụng cụ thể chuyên dụng hoặc các mạch tích hợp chức năng. Về cơ bản, các khả năng đó được mã hóa cứng và cố định tại thời điểm thiết kế hoặc sản xuất. Để tăng số dải hoặc phương thức được hỗ trợ thì các khối chức năng bổ sung được gắn thêm vào bên trong thiết bị đầu cuối. Các khối chức năng này sẽ hoạt động theo sự sắp xếp ma trận của các giao diện vô tuyến và các dải tần số để cung cấp một tập các khả năng được xác định trước.

Ứng dụng ban đầu của thiết bị vô tuyến trên cơ sở phần mềm trong SDR được chỉ ra trong hình 1.2.

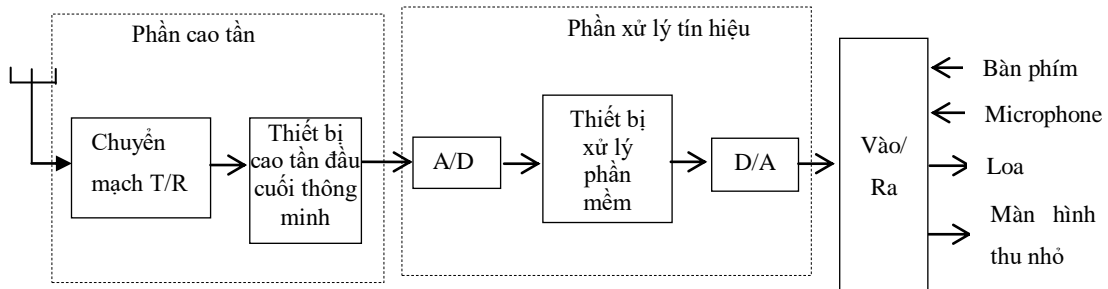


Hình 1.2: SDR - giai đoạn 2 [6]

Việc phân chia các khả năng xử lý theo các chức năng vô tuyến và các ứng dụng rộng khắp của của phương tiện vô tuyến là đòn bẩy rất hiệu quả, làm tăng khả năng vô tuyến của SDR, đó là khả năng điều khiển dễ dàng, vượt ra khỏi các hạn chế vốn có trong các ứng dụng cụ thể và các khối chức năng cố định sẵn có trong các thiết bị hiện thời. Minh họa cho sự phát triển của SDR theo các hình 1.3, 1.4.



Hình 1.3: SDR - giai đoạn 3 [6]



Hình 1.4: SDR - giai đoạn 4 [6]

1.2 Đặc điểm của thiết bị SDR

1.2.1 SDR - Thiết bị vô tuyến thông minh và thích nghi

Khả năng định lại cấu hình.

SDR cho phép tồn tại đồng thời các module đa phần mềm thực hiện các chuẩn khác nhau trên cùng một hệ thống với cấu hình động bằng cách lựa chọn module phần mềm thích hợp để chạy. Cấu hình động này được kết hợp trong các máy di động cũng như các thiết bị hạ tầng cơ sở.

Khả năng kết nối đồng thời ở khắp nơi.

SDR có thể thực hiện các chuẩn giao diện vô tuyến bởi các module phần mềm và các module thực hiện các chuẩn khác nhau có thể cùng tồn tại trên các thiết bị cơ sở và các máy di động.

Khả năng điều hành kết hợp.

Các thiết bị vô tuyến có cấu trúc mềm - SDR đơn giản hóa hoạt động của các hệ thống vô tuyến có cấu trúc mở. Những người dùng ở đầu cuối có thể nâng cấp các ứng dụng

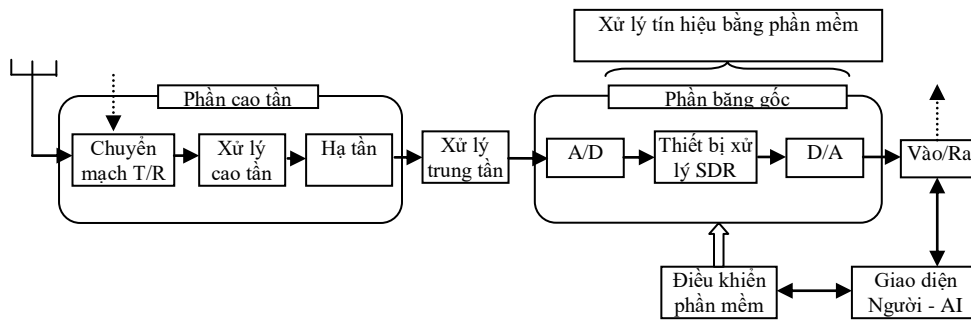
mới cho các máy di động của họ mà không cần ghép nối, như trong một hệ thống máy tính cá nhân. Điều này càng nâng cao sức hấp dẫn và các tiện ích của các máy di động.

1.2.2 SDR - Thiết bị vô tuyến số, đa dải, đa chế độ

Hoạt động trong nhiều dải tần số của phổ. Đa chế độ liên quan tới khả năng của máy di động hoặc trạm gốc để thực hiện đa chế độ (đa chuẩn giao diện vô tuyến, nhiều kỹ thuật điều chế, hoặc nhiều phương pháp đa truy cập). Khả năng đa dải/đa chế độ có thể được thực hiện bằng các kỹ thuật đa dạng của phần cứng và phần mềm của SDR.

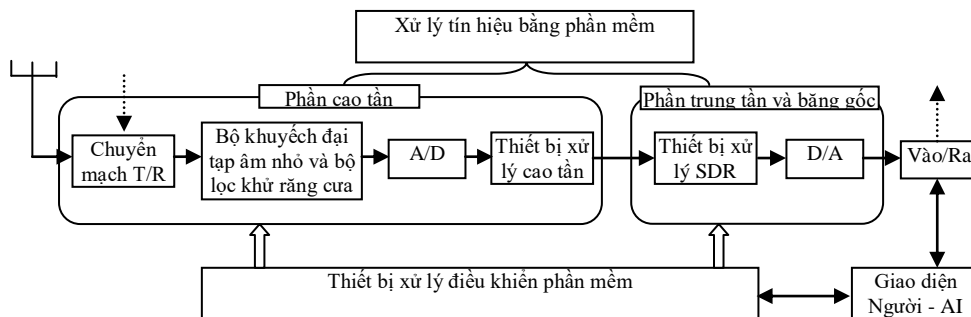
1.2.3 SDR - Thiết bị vô tuyến có cấu trúc mềm

Theo sơ đồ (hình 1.5), quá trình xử lý băng gốc được điều khiển bằng phần mềm và giao diện người/máy cho phép người sử dụng có thể nhập vào một vài hướng dẫn thực hành.



Hình 1.5: Sơ đồ khối SDR [16]

Cùng với sự phát triển của công nghệ, các thiết bị SDR được nâng cấp và cải tiến hơn, đó là SDR thông minh và thích nghi (AI - SDR).



Hình 1.6: Sơ đồ AI – SDR [14]

Hình 1.6 cũng minh họa khái niệm AI-SR, trong đó thiết bị vô tuyến có khả năng thích nghi với môi trường hoạt động. Động cơ xử lý sau phản cao tần chịu sự điều khiển của động cơ xử lý điều khiển phần mềm có công suất lớn. Phần xử lý điều khiển phần mềm này

cung cấp các dữ liệu nhân tạo và các thuật toán xử lý nhằm tạo cho SDR có khả năng thích nghi cao.

1.2.4 Công nghệ mới yêu cầu cho SDR

Chức năng mới yêu cầu tùy thuộc vào khách hàng, yêu cầu tiêu thụ công suất, yêu cầu kinh tế (giá thành thấp) và yêu cầu về kích thước kết hợp với yêu cầu công nghệ mới.

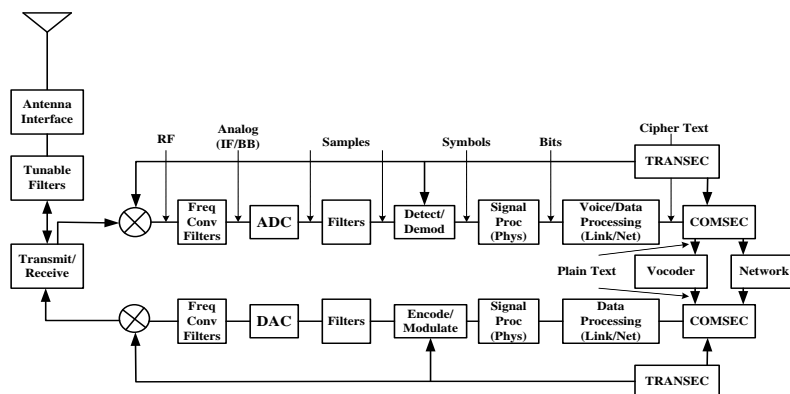
1.3 Ứng dụng

1.3.1 Ứng dụng SDR trong lĩnh vực quân sự

Trong quân sự, các ưu điểm của SDR là: Tính an toàn của thông tin, mã hoá bảo mật, sử dụng linh hoạt, tích hợp nhiều chức năng và chế độ công tác, khả năng kết nối với máy tính và các mạng thông tin liên lạc khác cao theo các tiêu chuẩn quốc tế. SDR còn cho phép tổ chức mạng thông tin lớn cho cả hệ thống, trong đó bao gồm nhiều loại phương tiện thông tin cho các binh chủng khác nhau, cho các dạng thông tin khác nhau (hình 1.7).

Ứng dụng nổi bật của SDR trong quân sự là SPEAKeasy bộ vi xử lý tín hiệu chống nhiễu lập trình được ứng dụng trong thông tin liên lạc cấp chiến thuật (TAJPSP). Mục đích của nghiên cứu nhằm phát triển một hệ vi xử lý có khả năng hoạt động với nhiều dạng sóng theo cấu trúc module và đã được sử dụng trong chương trình SPEAKeasy. Các nghiên cứu có mục đích hợp nhất các thiết bị thông tin liên lạc cấp chiến thuật của quân đội hoàn thành năm 1998.

Một mô hình ban đầu của SDR “SpeakEASY” được mô tả như trong hình dưới đây (hình 1.7):



Hình 1.7: Sơ đồ khối chức năng của SpeakEASY [9, 16]

1.3.2 Ứng dụng trong thông tin vô tuyến dân sự

Các nhà sản xuất thiết bị, các nhà cung cấp dịch vụ di động muốn lợi dụng được ưu điểm trong tính năng của nó phù hợp với một mức giá cả khi muốn thay thế các hệ thống cũ hoặc muốn nâng cấp thêm các dịch vụ, áp dụng các tiêu chuẩn mới mà không cần thay đổi toàn bộ phần cứng thì sẽ rất tốn kém và lãng phí. Đồng thời, SDR còn cho phép đưa vào sử dụng các đường truyền riêng, các kênh truyền thuê riêng an toàn cho các công ty. Việc tích hợp nhiều dịch vụ trên một thiết bị đem lại lợi ích không chỉ cho các nhà sản xuất, kinh doanh mà còn đem lại sự tiện lợi lớn cho người sử dụng. Bằng việc chế tạo ra các thiết bị truyền thông đa phương tiện làm cho người dùng chỉ cần mang một thiết bị mà vẫn có thể dùng nhiều chức năng khác nhau: điện thoại, máy tính bỏ túi cho các ứng dụng số liệu, các yêu cầu tốc độ khác nhau: thư điện tử, trình duyệt web, thư thoại...

Nó mang lại hiệu quả sử dụng tần số mà nhiều nhà cung cấp dịch vụ muốn sử dụng để kinh doanh. Ngoài ra SDR còn cho thấy các ứng dụng quan trọng khác của nó trong thông tin vệ tinh, dẫn đường, hàng hải và lĩnh vực an ninh công cộng, hệ thống cơ sở dữ liệu...

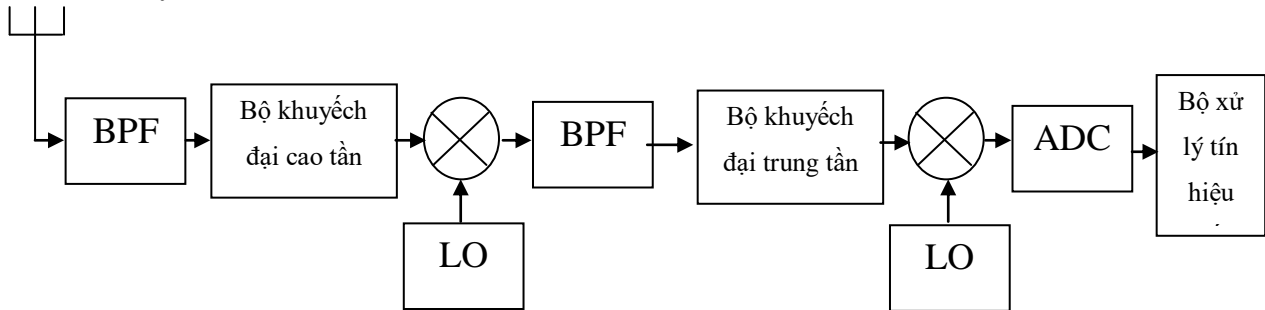
1.4 Kết luận chương 1

Chương 1 đã giới thiệu tổng quan về thế hệ các thiết bị vô tuyến ứng dụng công nghệ mới nhằm thực hiện các kỹ thuật mới trong thông tin liên lạc – SDR, trong đó có đề cập đến quá trình nghiên cứu và phát triển của SDR để giải quyết các vấn đề như thiết kế tần số vô tuyến, xử lý tín hiệu và sử dụng phần mềm vào điều khiển. Luận văn đã nêu lên khái niệm về thiết bị vô tuyến có cấu trúc mềm SDR cùng với các giai đoạn phát triển của nó để nhấn mạnh lên ưu điểm khi ứng dụng công nghệ này thay thế cho các công nghệ hiện nay.

Chương 2 - PHÂN TÍCH CẤU TRÚC CỦA SDR

2.1 So sánh SDR với các thiết bị vô tuyến khác

Ta sử dụng cấu trúc của thiết bị vô tuyến cũ để so sánh với mô hình của hệ thống SDR, đầu tiên ta xét sơ đồ của một máy thu đổi tần giai đoạn đầu được minh họa trong hình 2.1 dưới đây:



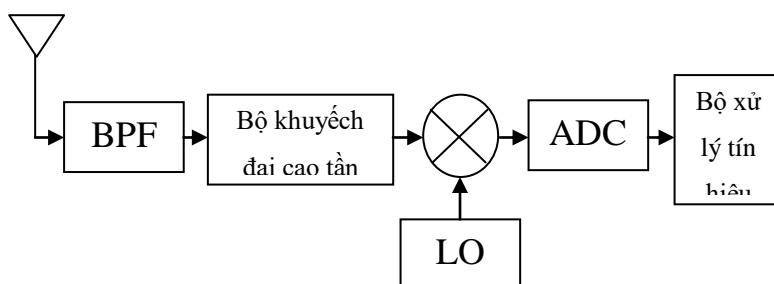
Hình 2.1: Máy thu đổi tần giai đoạn đầu

Các tín hiệu vô tuyến được thu tại anten máy thu và đưa qua một bộ lọc dải. Sự chuyển đổi từ cao tần xuống trung tần được hoàn thiện bằng cách nhân tín hiệu cao tần với một tín hiệu dao động nội trong một bộ trộn. Sau đó, bộ chuyển đổi tương tự/số (ADC) lấy mẫu tín hiệu đầu ra từ tầng trung gian cuối cùng, tín hiệu số được xử lý bằng mạch xử lý tín hiệu số.

2.2 Một vài cấu trúc SDR

2.2.1 Thiết bị vô tuyến xác định bằng phần mềm lấy mẫu trung tần

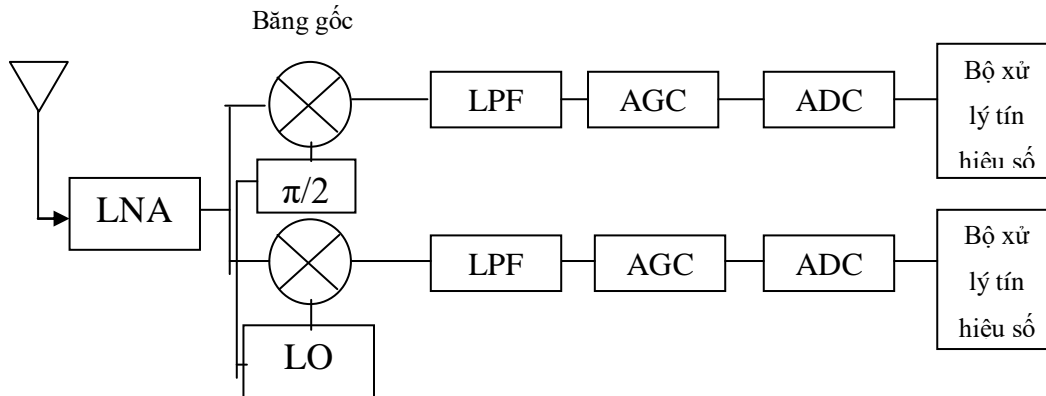
Các tầng trung gian tương tự được thay thế bằng các thiết bị số sao cho anten được nối trực tiếp tới bộ ADC. Ngày nay có thể thực hiện được các thiết bị vô tuyến xác định bằng phần mềm bao gồm: các thành phần tương tự để chuyển tín hiệu cao tần thành tín hiệu trung tần và bộ chuyển đổi tương tự/số, các thiết bị số để xử lý tín hiệu trung tần như trong hình 2.3.



Hình 2.3: SDR lấy mẫu trung tần

2.2.2 SDR chuyển đổi trực tiếp

Trong các thiết bị vô tuyến chuyển đổi trực tiếp, tín hiệu cao tần được chuyển đổi trực tiếp xuống băng gốc bằng một bộ trộn cầu phương như hình 2.4:

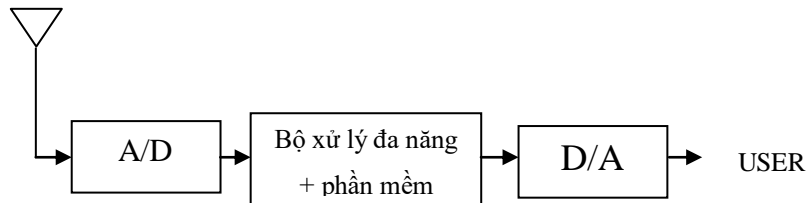


Hình 2.4: SDR chuyển đổi trực tiếp

Đầu ra bộ trộn là các thành phần tín hiệu đồng pha và vuông pha, các thành phần này sau đó được đưa qua bộ lọc thông thấp và được điều khiển hệ số khuếch đại trước khi chúng được lấy mẫu dạng số. Bộ lọc tương tự cho qua một dải tần số rộng và có thể chọn được một dải tần mong muốn trong dải tần đó bằng một bộ lọc số.

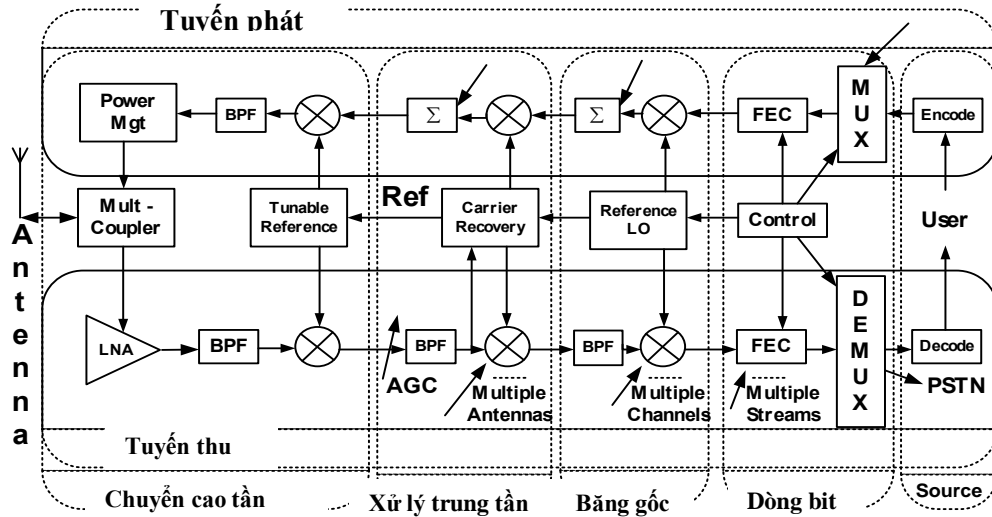
2.3 Cấu trúc chung, các thành phần cơ bản của SDR

2.3.1 Cấu trúc chung của SDR



Hình 2.6: Mô hình cấu trúc chung của SDR [8]

Trên đây là cấu mô hình cấu trúc chung của SDR, trong đó bao gồm: bộ xử lý đa năng cùng phần mềm và các bộ chuyển đổi A/D, D/A lấy mẫu trung tần.



Hình 2.7: Sơ đồ cấu trúc chính tắc của SDR [12]

Các luồng tín hiệu sơ cấp của cấu trúc chính tắc được minh họa trong hình 2.7, có hai luồng tín hiệu sơ cấp. Thứ nhất, máy phát biến đổi nguồn dạng sóng tương tự nguyên thủy thành dòng bit. Sau đó, dòng bit đó được mã hoá và ghép kênh. Tín hiệu được mã hoá mã kênh và nâng tần, được khuếch đại và lọc để phát tại anten. Thứ hai, máy thu biến đổi dạng sóng giao diện vô tuyến thu được tại anten. Tiếp đó, máy thu chọn tần số, lọc, chuyển đổi tần số, san bằng, giải điều chế, điều khiển lỗi, tách kênh và giải mã nguồn tín hiệu thông tin tới người dùng hoặc tới giao diện mạng điện thoại chuyển mạch công cộng.

2.3.2 Các thành phần cơ bản của SDR

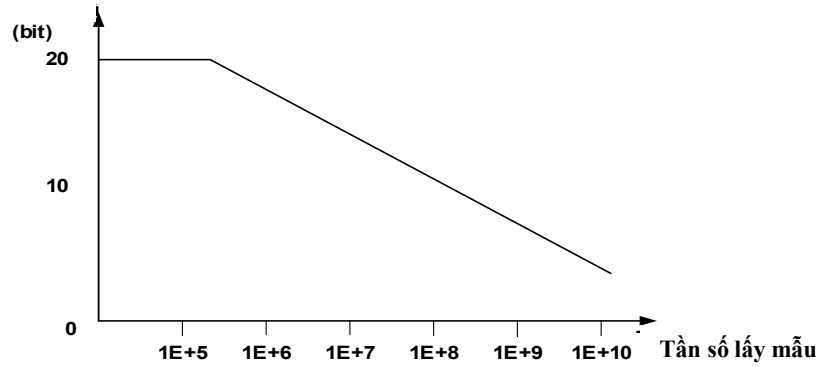
2.3.2.1 Khối cao tần được tích hợp

Các phần tử cao tần được tích hợp trên một chip bằng công nghệ vi mạch sóng cực ngắn nguyên khối MMIC. Các phần tử cao tần bao gồm các phần tử tích cực như các transistors và các phần tử thụ động như điện trở, tụ điện và cuộn cảm.

2.3.2.2 Bộ chuyển đổi tương tự - số

Các tham số cơ bản để xác định hiệu suất của các bộ chuyển đổi tương tự - số là tốc độ lấy mẫu và số các bit trên một mẫu. Hình 2.9 chỉ ra mối quan hệ giữa tần số lấy mẫu và số bit/mẫu.

Số các bit phân giải

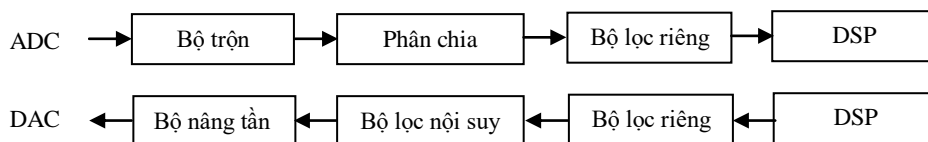
**Hình 2.9 Quan hệ giữa tần số lấy mẫu và số các bit phân giải**

Khi lấy mẫu tần thấp, tốc độ lấy mẫu phải lớn hơn hai lần dải thông tín hiệu đã được lọc thông dải. Một tham số cơ bản khác là dải động. Theo phương pháp truyền thống, mỗi thiết bị vô tuyến chỉ xử lý một dải hẹp bằng cách loại bỏ các tín hiệu nhiễu, máy thu có thể tập trung vào một dải mong muốn, điều chỉnh hệ số để đánh giá một cách tương đối tỉ số tín/tạp và tách ra tín hiệu nhỏ từ nền tạp âm.

Kết quả là, máy thu phải có một dải động cực kỳ lớn đủ nhạy để khôi phục chính xác các tín hiệu yếu, nếu không thì các tín hiệu đó sẽ bị che khuất bởi các tín hiệu lớn. Máy thu cũng phải có độ tuyến tính cực cao; mọi sự biến dạng hoặc hòa âm sẽ tạo ra các tín hiệu ảnh lớn và không thể phân biệt được với tín hiệu đúng.

2.3.2.3 Mạch xử lý tín hiệu số

Khi một tín hiệu trung tần được lấy mẫu bởi một bộ ADC thì các tín hiệu bên dưới tần số trung tần phải được xử lý số như hình 2.10

**Hình 2.10 Các chức năng xử lý số cho SDR lấy mẫu trung tần**

Tín hiệu trung tần đã được số hoá từ bộ ADC sẽ được hạ tần, lọc và phân chia trước khi thực hiện xử lý tín hiệu tốc độ thấp hơn bằng bộ xử lý tín hiệu số (DSP). Quá trình xử lý tín hiệu tốc độ thấp hơn gồm: giải mã hóa kênh sửa sai và giải mã nguồn như giải nén dữ liệu, giải mã...

Trong tuyến phát, việc xử lý tín hiệu chậm hơn được thực hiện đầu tiên là: mã hoá nguồn như mã hóa và nén tín hiệu, giải mã kênh bao gồm cả sửa sai. Sau đó tín hiệu được lọc cho mỗi ứng dụng, nội suy và nâng tần trước khi tín hiệu được đưa tới bộ DAC. Quá

trình xử lý tín hiệu tốc độ cao hơn như các tín hiệu trung tần yêu cầu mạch xử lý tín hiệu tốc độ rất cao. Các IC thích hợp là các bộ xử lý tín hiệu số (DSP), dây công lập trình tại chỗ (FPGA), hoặc IC chuyên dụng cụ thể cho thiết bị vô tuyến có cấu trúc xác định bằng phần mềm.

Ngoài ra còn có FPGA cũng là thuộc các chip mà có các đặc tính định lại cấu hình đa năng cũng giống như DSP. Bảng sau đây trình bày chi tiết các điểm khác nhau giữa DSP và FPGA.

Bảng 2.1: So sánh giữa FPGA và DSP [6]

| Đặc điểm | Chip FPGA | Chip DSP |
|---|---|--|
| Ngôn ngữ lập trình | VHDL, Verilog | Ngôn ngữ C, Assembly |
| Độ dễ của lập trình phần mềm | Khá dễ, song người lập trình phải biết về cấu trúc phần trước khi lập trình | Đơn giản |
| Tốc độ, chất lượng | Có thể rất nhanh nếu thiết kế một cấu trúc hợp lý | Tốc độ giới hạn bởi tốc độ đồng hồ của chip DSP |
| Định lại cấu hình | Loại SRAM của FPGA có thể định lại cấu hình mà không hạn chế số lần | Có thể định lại cấu hình bằng cách thay đổi nội dung chương trình trong bộ nhớ |
| Phương pháp định lại cấu hình | Bằng cách downloading dữ liệu cấu hình tới chip | Đơn giản bằng cách đọc chương trình ở địa chỉ nhớ khác |
| Các vùng mà FPGA có thể làm tốt hơn DSP | Bộ lọc FIR, bộ lọc IIR, bộ tương quan, bộ nhân, FFT ... | Quá trình xử lý tín hiệu của chuỗi nguyên thủy |
| Công suất tiêu thụ | Có thể cực tiểu nếu mạch được thiết kế để tiết kiệm công suất hoặc công suất được điều khiển động | Công suất tiêu thụ không phụ vào dung lượng chương trình |
| Phương pháp thực hiện của MAC | Bộ nhân/cộng song song hoặc một sách số học được phân bố | Chức năng hoạt động của MAC được lập lại |
| Tốc độ của MAC | Có thể rất nhanh nếu sử dụng thuật toán song song, nếu một bộ lọc được hoạt động bằng sách số học được phân bố thì tốc độ hoạt động không phụ thuộc vào số đầu ra | Bị giới hạn bởi hoạt động của chip DSP, nếu dùng một bộ lọc thì tốc độ sẽ chậm hơn nếu số đầu ra giảm. |
| Song song hóa | Có thể được song song hóa để đạt được hiệu quả cao | Chương trình chip DSP thường là nối tiếp và không thể song song hóa |

(Nguồn: Công nghệ xử lý tín hiệu số DSP và công nghệ FPGA)

2.4 Yêu cầu và đặc điểm kỹ thuật của SDR

2.4.1 Đặc điểm của máy phát SDR

Các tham số quan trọng chính khi thiết kế máy phát cần quan tâm là :

- Mức công suất ra
- Dải điều khiển công suất
- Những phát xạ giả

Mức công suất ra của máy phát

Các mức công suất ra của máy phát được tạo ra từ một máy di động (MS) phụ thuộc vào chuẩn và phân lớp của nó. Trong tất cả các trường hợp, máy phát cần tạo ra công suất được điều khiển qua một dải đáng kể để đảm bảo các sai số tương đối tốt. Cấu trúc này sử dụng các yêu cầu chuẩn như trong bảng 2.2 sau đây :

Bảng 2.2: Yêu cầu về công suất cho các giao diện vô tuyến [11]

| Chuẩn giao diện vô tuyến | Công suất ra lớn nhất lý tưởng | | Công suất ra nhỏ nhất lý tưởng (dBm) | Điều khiển công suất | | |
|--------------------------|--------------------------------|------------------------|--------------------------------------|----------------------|---------------------|----------------------|
| | Lớp đầu cuối | P _{max} (dBm) | | Các mức | Dải công suất (dBm) | Khoảng cách |
| GSM 900 | 2 | 39 | 5 | 0 - 2 | 39 | 2 dB 3 dB |
| | 3 | 37 | | 3 - 15 | 37 - 13 | |
| | 4 | 33 | | 16 - 18 | 11 - 7 | |
| | 5 | 29 | | 19 - 31 | 5 | |
| DCS 1800 | 1 2 3 | 30 24 36 | 0 | 29 | 36 | 2 dB 2 dB 2 dB |
| | | | | 30 - 31 | 34 - 32 | |
| | | | | 0 - 8 | 30 - 14 | |
| | | | | 9 - 13 | 12 - 4 | |
| | | | | 14 | 2 | |
| | | | | 15 - 28 | 0 | |
| Công suất ra lý tưởng | | | | | | |
| | Mức | | | Công suất (dBm) | | |
| DECT | 1 | | | 4 | | |
| | 2 | | | 24 | | |
| UMTS-FDD | 1 | 33 | - 44 | Các bước | | |
| | 2 | 27 | | 1 | | |
| | 3 | 24 | | 2 | | |
| | 4 | 21 | | 3 | | |
| UMTS-TDD | 2 | 24 | - 44 | | | |
| | 3 | 21 | | | | |

| | | | | | | |
|-----------|---|----|-----|------------------|--------------------------|--|
| Bluetooth | 1 | 20 | + 4 | $P_{\min} < -4$ | $P_{\min} \div P_{\max}$ | |
| | 2 | 4 | - 6 | $P_{\min} < -30$ | $P_{\min} \div P_{\max}$ | |
| | 3 | 0 | - | $P_{\min} < -30$ | $P_{\min} \div P_{\max}$ | |

2.4.2 Đặc điểm của máy thu

Các tham số quan trọng chính cần tính toán khi thiết kế máy thu SDR là :

- Độ nhạy đầu vào
- Mức tín hiệu cần thu lớn nhất
- Biểu đồ khối

Mức tín hiệu lớn nhất và độ nhạy máy thu

Bảng 2.3 sau đây tổng hợp các yêu cầu độ nhạy của nhóm nghiên cứu các chuẩn giao diện vô tuyến.

Bảng 2.3: Yêu cầu về độ nhạy cho các giao diện vô tuyến [11]

| Chuẩn giao diện vô tuyến | | Mức độ nhạy chuẩn (dBm) | Mức đầu vào lớn nhất |
|--------------------------|------------------|-------------------------|----------------------|
| GSM 900 | MS nhỏ | - 102 | - 15 |
| | MS khác | - 104 | |
| DCS 1800 | Lớp 1 hoặc lớp 2 | - 100/-102 | - 23 |
| | Lớp 3 | - 102 | |
| PCS 1900 | Normal | - 102 | - 23 |
| | Other | - 104 | |
| DECT | | - 86 | - 33 |
| UMTS (FDD) | 12.2 kbps | - 92 | |
| | 64 kbps | - 99.2 | |
| | 144 kbps | - 102.7 | |
| | 384 kbps | - 107 | |
| UMTS (TDD) | | - 105 | |
| Bluetooth | | - 70 | - 20 |

2.4.3 Các dải tần số sử dụng

Các dải tần số sử dụng được liệt kê trong bảng 2.4 sau:

Bảng 2.4 Các dải tần sử dụng cho các giao diện vô tuyến [11]

| Chuẩn giao diện Vô tuyến | Kênh đường lên (MHz) | Kênh đường xuống (MHz) | Khoảng song công (MHz) |
|--------------------------|----------------------|-------------------------|------------------------|
| GSM 900 | 890 – 915 | 935 - 960 | 45 |
| E - GSM 900 | 880 – 915 | 925 - 960 | 45 |
| R - GSM 900 | 876 – 915 | 921 - 960 | 45 |
| DCS 1800 | 1710 - 1785 | 1805 - 1880 | 95 |
| PCS 1900 | 1850 - 1910 | 1930 - 1990 | 80 |

| | | | |
|-------------------------|---|---|---------------|
| DECT | 1881.792 - 1897.344 | 1881.792 - 1897.344 | Không sử dụng |
| UMTS FDD Châu Âu | 1920 - 1980 | 2110 - 2170 | 190 |
| UMTS FDD (CDMA 2000) | 1850 - 1910 | 1930 - 1990 | 80 |
| UMTS TDD (Châu Âu) | 1900 - 1920 2010 - 2025 | 1900 - 1920 2010 - 2025 | |
| UMTS TDD (CDMA 2000) | 1850 - 1910 1930 - 1990 1910 - 1930 | 1850 - 1910 1930 - 1990 1910 - 1930 | |
| Bluetooth | 2400 - 2483.5 | 2400 - 2483.5 | |
| HIPERLAN/2 | 5150 - 5350 5470 - 5725 | 5150 - 5350 5470 - 5725 | |

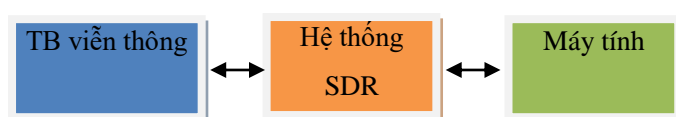
2.5 Kết luận chương 2

Thiết bị vô tuyến đa chế độ, đa dải có xu hướng đáp ứng được các chuẩn di động Châu Âu, PAN, LAN đưa ra nền tảng ban đầu cho hệ thống SDR. Việc nghiên cứu, cải thiện toàn diện độ tuyến tính của máy thu phát sẽ là cơ sở quan trọng cho việc phát triển máy thu phát đa dải, đa chế độ trong thiết bị vô tuyến có cấu trúc xác định bằng phần mềm đúng nghĩa.

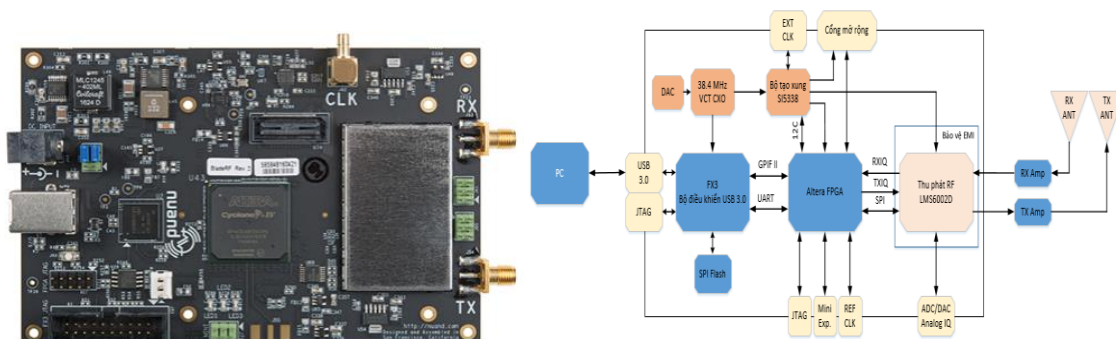
Chương 3 - ĐỀ XUẤT VÀ THỬ NGHIỆM THIẾT BỊ VIỄN THÔNG QUÂN SỰ ỨNG DỤNG CÔNG NGHỆ SDR

3.1 Đề xuất mô hình SDR

Ta đề xuất mô hình thử nghiệm trên thiết bị có sử dụng hệ thống SDR (Hình 3.1), trong mô hình này có hỗ trợ của máy tính, máy tính này đóng vai trò như thành phần lõi trong mạng thực tế, mạch SDR để điều hành (định lại cấu hình, kết nối đồng thời các thiết bị đầu cuối và điều hành kết hợp).



Hình 3.1: Các thiết bị trong hệ thống viễn thông quân sự

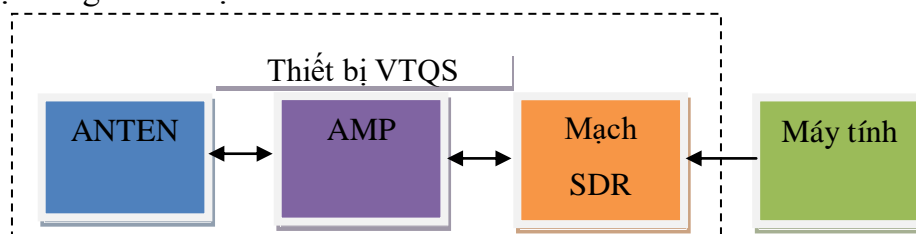


Hình 3.2: Mạch SDR sử dụng cho thiết bị viễn thông quân sự

Ngoài ra, khi kết hợp thêm 2 anten thu, phát và bộ khuếch đại; ta có sơ đồ khối tổng quan của của hệ thống gồm:

- + Anten, gồm 2 anten thu, phát;
- + Bộ khuếch đại;
- + Mạch SDR;
- + Máy tính (để lập trình).

Hệ thống có cấu tạo chi tiết như sau:



Hình 3.3: Mô hình chi tiết thiết bị

Hệ thống trên sẽ đảm bảo các tính năng như:

- Khả năng định lại cấu hình thông qua lập trình trên PC.
- Dựa vào module phần mềm đã lập trình sẵn để kết nối trên nhiều chuẩn thiết bị khác nhau.
- Hoạt động được trên đa dải (nhiều dải tần số), đa chế độ (được thực hiện bằng các kỹ thuật đa dạng của phần cứng và phần mềm).

Để tích hợp được tất cả các chức năng trên, trong thiết bị ta sẽ áp dụng giải pháp là sử dụng lớp vật lý mềm. Nó là một phần mềm thực hiện mạng truy nhập vô tuyến GSM/GPRS dựa trên Yate (Yet Another Telephony Engine) nó tương thích với 2.5G và 4G, có khả năng phục hồi, tùy biến và độc lập công nghệ.

3.2 Cấu trúc, tính năng thiết bị viễn thông quân sự sử dụng công nghệ SDR

3.2.1 Tính năng chung của thiết bị

Thiết bị cho phép sử dụng các ứng dụng phần mềm trên phần cứng để điều chỉnh thành nhiều tần số để thiết lập cơ sở hạ tầng thông tin liên lạc trong quân đội.

Tạo khả năng giao tiếp bằng nhiều giao thức khác nhau (WiFi, 4G LTE, Bluetooth,...). Thiết bị cũng cung cấp khả năng sử dụng các công nghệ mới khi chúng có sẵn thông qua các bản cập nhật phần mềm và phần cứng. Nó có thể dễ dàng được nâng cấp thông qua thay đổi phần mềm / phần cứng. Thiết bị có thể mã hoá, thiết lập bảo mật, cho phép quân nhân không chỉ giao tiếp trên một dải tần số rộng với khả năng sử dụng các phương pháp mã hóa luôn thay đổi như đã trình bày trong phần 3.2.

Ngoài ra, tùy thuộc vào thiết kế thiết bị SDR có thể được thay đổi về kích thước, mức tiêu thụ điện năng, giao diện nhưng vẫn đảm bảo chức năng liên lạc, hoạt động với băng tần rất rộng. Quân nhân có khả năng giao tiếp ở quy mô lớn, tham gia vào mạng thông tin lớn trong cả hệ thống tác chiến chiến dịch trong đó bao gồm nhiều loại thiết bị cho các đơn vị với sự đa dạng các tiêu chuẩn và dạng loại chế độ thông tin khác nhau, hỗ trợ chiến sỹ hoàn thành mọi nhiệm vụ được giao trên chiến trường.

3.2.2 Chức năng phần mềm - Nền tảng Yate

Kiến trúc của Yate dựa trên hệ thống truyền tin nhắn. Kiến trúc có thể được chia thành 4 phần chính:

- Lỗi, nơi có các ổ cắm, luồng dữ liệu đi qua để xử lý;

- Message Engine, các lớp liên quan đến tin nhắn, được sử dụng để trao đổi dữ liệu giữa các mô-đun;
- Telephony Engine, các lớp liên quan đến điện thoại;
- Mô-đun Yate, mô-đun mở rộng chức năng của Yate.

Cách hoạt động.

Khi sử dụng di động trong mạng của thiết bị, tín hiệu GSM đi đến anten của thiết bị. Sau đó, tín hiệu chuyển lên tới Lớp 1 và 2, nơi tín hiệu GSM được xử lý và được cấp thông qua socket đến Yate. Yate hiển thị kết nối đã nhận với giao thức cần thiết (SIP hoặc giao thức khác) để liên lạc với máy chủ bên ngoài của nhà cung cấp VoIP, ví dụ, liên kết bạn với người hoặc máy mà bạn muốn liên lạc.

Lỗi mềm đã được tạo ra với mục đích cung cấp giải pháp kết hợp và nâng cao giữa lớp 1 lớp vật lý (L1 PHY), lớp 2 (L2 Link) và lớp 3 quản lý tài nguyên radio (L3 Radio Resource Manager), còn được gọi là MBTS và nhiều tính năng của Yate, chẳng hạn như IAX qua vệ tinh, SS7 và Diameter, USSD, RManager, chuyển vùng hoặc chuyển đổi điện thoại cục bộ.

Nó thường được cấu hình để hoạt động ở một trong hai chế độ:

- Mạng ở chế độ PC (NiPC) - Trong chế độ này, thiết bị hoạt động như một mạng GSM / GPRS độc lập, kết nối với thế giới bên ngoài qua giao thức VoIP và / hoặc ISDN.
- Chế độ mạng truy nhập vô tuyến (RAN) - Trong chế độ này, thiết bị hoạt động như một thành phần của mạng GSM / GPRS lớn hơn. Các chức năng mạng lõi được cung cấp bởi một máy chủ bên ngoài.

3.2.2 Chức năng phần cứng và chỉ số kỹ thuật

Nghiên cứu kỹ một số nội dung dưới đây để phân tích 02 chức năng tiêu biểu của phần cứng thiết bị và đưa ra thông số kỹ thuật cho hệ thống này:

- Phân tích cấu trúc cho phép lập trình được FPGA (Field Programmable Gate Arrays) Cyclone IV E (EP4CE6E22C8N) của bộ thiết bị, chỉ số kỹ thuật;
- Hệ thống được lập trình trên chip thu phát RF (LMS6002D), chỉ số kỹ thuật của chip.

3.2.2.1 Nền tảng FPGA

Đối với chip FPGA Cyclone IV E (EP4CE6E22C8N) sử dụng trong hệ thống này, nó có một số đặc điểm và chỉ tiêu kỹ thuật như sau:

Bảng 3.1 Chỉ số kỹ thuật của chip FPGA Cyclone IV [25]

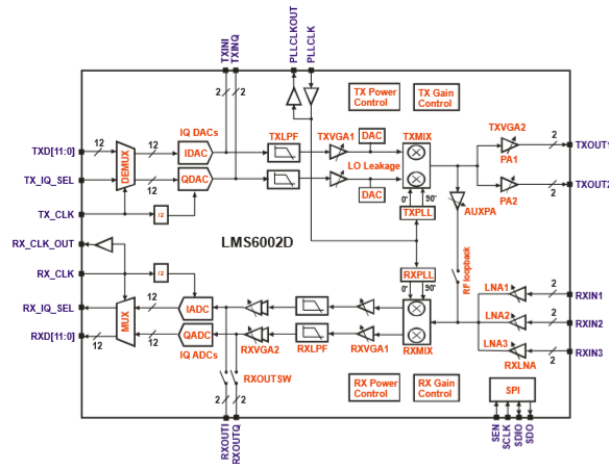
| Đặc điểm | Hệ số |
|------------------------------|--------------|
| Các yếu tố logic | 15.408 |
| Bộ nhớ nhúng (Kbits) | 504 |
| Số nhân 18×18 nhúng | 56 |
| PLL đa năng | 4 |
| Mạng Global Clock | 20 |
| User I/O Banks | 8 |
| Người dùng tối đa I / O | 343 |

- Cấu trúc đồ họa công suất thấp, chi phí thấp;
- Các phần tử logic 6K đến 150K;
- Bộ nhớ nhúng lên đến 6,3 Mb;
- Bộ nhân lên tới 360 18×18 cho các ứng dụng chuyên sâu xử lý DSP;
- Các ứng dụng bắc cầu giao thức cho tổng công suất dưới 1,5 W.

3.2.2.2 Chip thu phát RF - LMS6002D

LMS6002D có thể được cấu hình kỹ thuật số để hoạt động trên bất kỳ băng tần truyền thông di động nào (hoạt động từ 300MHz đến 3.8 GHz; trong luận văn sử dụng cấu hình 04 băng tần là 835, 933, 1835, 1933 MHz) và được sử dụng trên bất kỳ tiêu chuẩn truyền thông di động 2G, 3G hoặc 4G nào (trong luận văn sử dụng cho mạng 2G).

Chip này kết hợp sự đa dạng của đầu vào RF và đầu ra để kích hoạt một loạt các tính năng được thực hiện. ADC và DAC cho phép nó trực tiếp tương tác với hầu như bất kỳ dải tần, DSP và FPGA ICs nào.



Hình 3.7: Cấu trúc chung của chip thu phát LMS6002D [24]

3.3 Triển khai thực nghiệm trên mô hình đề xuất

3.3.1 Thiết lập chế độ

Chế độ quản lý cho phép cấu hình bao gồm các lựa chọn cài đặt cấu hình cho các thành phần GSM, GPRS, Transceiver....

Sau khi thiết lập, thiết bị được thử nghiệm kết nối với điện thoại; khi khởi động thiết bị, các điện thoại trong vùng phủ sóng của thiết bị có thể nhìn thấy mạng do thiết bị tạo ra.

Khi kết nối thành công, ta cũng thu được lịch sử kết nối với thiết bị trên giao diện lịch sử các kết nối (hình 3.12), các thông tin đều được hiển thị ở đây.

| Time | Billid | Chan | Address | Caller | Called | Billtime | Ringtime | Duration | Direction | Status | Reason |
|---------------------|--------------|----------|--------------|--------------|-----------|----------|----------|----------|-----------|-----------------|------------------|
| 2018-12-06 02:40:06 | 1544081897-4 | ybtst/3 | TMSI007b0018 | 842217580 | 843408764 | 318.977 | 1.542 | 321.597 | outgoing | answered | normal-clearing |
| 2018-12-06 02:40:06 | 1544081897-4 | ybtst/2 | TMSI007b0014 | TMSI007b0014 | 843408764 | 318.976 | 1.542 | 321.876 | incoming | answered | normal-clearing |
| 2018-12-06 02:38:51 | 1544081897-1 | ybtst/1 | TMSI007b0014 | TMSI007b0014 | 32843 | 0.000 | 0.000 | 22.920 | incoming | answered | normal-clearing |
| 2018-12-06 10:23:36 | 1544066595-3 | ybtst/3 | TMSI007b0017 | 842217580 | 847671995 | 88.166 | 1.580 | 90.780 | outgoing | answered | normal-clearing |
| 2018-12-06 10:23:35 | 1544066595-3 | ybtst/2 | TMSI007b0014 | TMSI007b0014 | 847671995 | 88.163 | 1.580 | 91.061 | incoming | answered | normal-clearing |
| 2018-12-06 10:23:29 | 1544066595-1 | ybtst/1 | TMSI007b0014 | TMSI007b0014 | 32843 | 0.000 | 0.000 | 2.021 | incoming | answered | normal-clearing |
| 2018-12-06 10:22:24 | 1544065888-7 | ybtst/10 | TMSI007b0017 | 842217580 | 847671995 | 0.000 | 0.000 | 14.723 | outgoing | outgoing | normal-clearing |
| 2018-12-06 10:22:23 | 1544065888-7 | ybtst/9 | TMSI007b0014 | 847671995 | 0.000 | 0.000 | 15.000 | incoming | accepted | normal-clearing | |
| 2018-12-06 10:18:27 | 1544065888-6 | ybtst/8 | TMSI007b0017 | 842217580 | 847671995 | 66.342 | 1.260 | 69.138 | outgoing | answered | normal-clearing |
| 2018-12-06 10:18:27 | 1544065888-6 | ybtst/7 | TMSI007b0014 | TMSI007b0014 | 847671995 | 66.341 | 1.260 | 69.419 | incoming | answered | normal-clearing |
| 2018-12-06 10:16:26 | 1544065888-5 | ybtst/5 | TMSI007b0014 | TMSI007b0014 | 847671995 | 112.405 | 2.160 | 116.083 | incoming | answered | net-out-of-order |
| 2018-12-06 10:16:26 | 1544065888-5 | ybtst/6 | TMSI007b0017 | 842217580 | 847671995 | 112.403 | 2.160 | 115.798 | outgoing | answered | net-out-of-order |
| 2018-12-06 10:12:17 | 1544065888-3 | ybtst/3 | TMSI007b0016 | 842217580 | 847304512 | 0.000 | 0.000 | 13.143 | outgoing | outgoing | normal-clearing |
| 2018-12-06 10:12:17 | 1544065888-3 | ybtst/2 | TMSI007b0014 | TMSI007b0014 | 847304512 | 0.000 | 0.000 | 13.420 | incoming | accepted | normal-clearing |
| 2018-12-06 10:11:50 | 1544065888-1 | ybtst/1 | TMSI007b0014 | TMSI007b0014 | 32843 | 0.000 | 0.000 | 8.580 | incoming | answered | normal-clearing |
| 2018-12-06 09:49:38 | 1544064440-5 | ybtst/4 | TMSI007b0016 | 842217580 | 847304512 | 117.465 | 3.457 | 122.241 | outgoing | answered | normal-clearing |
| 2018-12-06 09:49:38 | 1544064440-5 | ybtst/3 | TMSI007b0014 | TMSI007b0014 | 847304512 | 117.462 | 3.457 | 122.520 | incoming | answered | normal-clearing |
| 2018-12-06 09:48:30 | 1544064440-1 | ybtst/1 | TMSI007b0014 | TMSI007b0014 | 32843 | 0.000 | 0.000 | 16.039 | incoming | answered | normal-clearing |
| 2018-11-22 03:16:03 | 1542874368-4 | ybtst/3 | TMSI007b0014 | TMSI007b0014 | 847304512 | 26.928 | 13.081 | 41.827 | incoming | answered | normal-clearing |
| 2018-11-22 03:16:03 | 1542874368-4 | ybtst/4 | TMSI007b0015 | 842217580 | 847304512 | 26.922 | 13.081 | 41.543 | outgoing | answered | normal-clearing |

Hình 3.10: Giao diện cấu hình

Khi đã kết nối thành công, ta tiến hành thử nghiệm hoạt động của thiết bị này trên nhiều dải băng tần, thay đổi các khoảng cách để kiểm tra công suất của thiết bị.

3.3.2 Kết quả thực nghiệm

Đầu tiên, ta đo công suất và cường độ tín hiệu của thiết bị với khoảng cách từ thiết bị đến thiết bị đo là 1, 2, 5 và 10 m lần lượt đối với các dải tần số là 936 MHz, 1807 MHz và 1933 MHz. Trong đó ta đã đánh giá được thiết bị hoạt động hiệu quả nhất trong vòng bán kính khoảng 10m trở lại.

Ngoài kết quả trên, ta tiến hành liên tục thu phát 24/24, kết quả được đo đạc nhiều lần, công suất tương đối ổn định, liên tục, đáp ứng được yêu cầu được giao.

3.4 Dự kiến đóng góp của luận văn

Trong lĩnh vực dân sự

- Bộ thiết bị có giá cả hợp lý. Khi muốn thay thế các hệ thống cũ hoặc muốn nâng cấp thêm các dịch vụ, áp dụng các tiêu chuẩn mới mà không cần phải thay đổi toàn bộ phần cứng, hạn chế tổn kém và lãng phí.

- Cho phép đưa vào sử dụng các đường truyền riêng, các kênh truyền thuê riêng an toàn cho các tổ chức, doanh nghiệp.

- Việc tích hợp nhiều dịch vụ trên một thiết bị đem lại sự tiện lợi lớn cho người sử dụng có thể dùng nhiều chức năng khác nhau: điện thoại, máy tính bỏ túi cho các ứng dụng số liệu, các yêu cầu tốc độ khác nhau: thư điện tử, trình duyệt web, thư thoại...

Trong lĩnh vực quân sự

Hỗ trợ chỉ huy và kiểm soát, và khả năng giao tiếp bằng nhiều giao thức khác nhau. Cho phép cấu hình dễ dàng tùy thuộc vào tình huống đáp ứng các yêu cầu này, do đó làm giảm lượng thiết bị cần thiết. Thiết bị này sẽ được áp dụng cho nhiều thứ hơn là chỉ giao tiếp và cung cấp sự linh hoạt để kết hợp các tín hiệu thông minh, liên lạc và chiến tranh điện tử tất cả trong một nền tảng. Thiết bị cũng cung cấp khả năng sử dụng các công nghệ mới khi chúng có sẵn thông qua các bản cập nhật phần mềm và phần cứng. Dễ dàng được nâng cấp thông qua thay đổi phần mềm / phần cứng, vì vậy quân nhân có thể sử dụng với các giao thức và tiêu chuẩn trong tương lai mà không cần thay đổi thiết bị, giúp tiết kiệm chi phí cả về phần cứng và đào tạo, tránh để lộ lọt thông tin không cần thiết.

Chức năng của thiết bị SDR có ưu điểm là tính an toàn của thông tin, mã hoá bảo mật cao, cho phép quân nhân không chỉ giao tiếp trên một dải tần số rộng với khả năng sử dụng các phương pháp mã hóa luôn thay đổi.

3.5 Nhận xét, đánh giá

Dải tần 1933 MHz ta thu được cường độ tín hiệu là lớn nhất, tương tự với khoảng cách gần nhất là 1m ta cũng thu được cường độ tín hiệu là lớn nhất. Trong khoảng cách đo đặc là 10m, ta thu được kết quả tại một số thời điểm cường độ tín hiệu (RSSI) là rất thấp và mức tín hiệu thu (RXLEV) rất yếu. Ta có thể kết luận là thiết bị hoạt động hiệu quả nhất trong vòng bán kính ngắn hơn khoảng 10m.

3.6 Kết luận chương 3

Chương 3, ta đã đề xuất mô hình thử nghiệm trên thiết bị viễn thông quân sự có sử dụng hệ thống SDR. Để tích hợp được tất cả các chức năng cần thiết, ta áp dụng giải pháp là sử dụng lớp vật lý mềm thực hiện mạng truy nhập vô tuyến GSM/GPRS dựa trên Yate có khả năng phục hồi, tùy biến và độc lập công nghệ; sử dụng bộ phần cứng với FPGA và chip thu phát RF (LMS6002D). Ta tiến hành thử nghiệm hoạt động của thiết bị này trên nhiều dải băng tần, bằng cách đo công suất và cường độ tín hiệu của thiết bị đối với điện thoại kết nối với mạng với khoảng cách nhất định trên các dải tần số là 936 MHz, 1807 MHz và 1933 MHz. Qua đánh giá, ta thấy được hiệu quả hoạt động của thiết bị trong vòng bán kính khoảng 10m trở lại, đây cũng là hạn chế của thiết bị còn đang trong giai đoạn thử nghiệm.

KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Toàn bộ luận văn đã trình bày khá đầy đủ về sự ra đời, phát triển và tổng quan về thiết bị vô tuyến có cấu trúc xác định bằng phần mềm - SDR. Nội dung của luận văn đã đi sâu tìm hiểu về thành phần cấu trúc của SDR, các cấu trúc tiêu biểu của SDR. Từ đó đưa ra các thông số nghiên cứu cho thiết kế máy thu và máy phát SDR, cũng như giải quyết các vấn đề cơ bản trong các cấu trúc đó. Và cuối cùng, luận văn đã đề xuất mô hình một thiết bị có ứng dụng công nghệ SDR và có thể sử dụng trong lĩnh vực quân sự.

Quá trình làm luận văn đã giúp tôi hoàn thiện thêm về kiến thức lý thuyết, khả năng tìm hiểu tài liệu, cách đặt vấn đề, giải quyết vấn đề một cách tổng thể. Qua đó trang bị cho bản thân những lý thuyết cơ bản về công nghệ “ **Software Defined Radio** ” - SDR. Đây là những kiến thức rất bổ ích giúp tôi trong công tác thực tiễn tại đơn vị. Tuy vậy, do thời gian hạn chế và tính mới mẻ của luận văn cùng vấn đề khó khăn về tài liệu nên luận văn mới chỉ nêu lên được những kiến thức chung, tổng quan về SDR. Vì vậy, tôi rất mong muốn nhận được sự đóng góp và tạo điều kiện của các thầy, cô giáo và các học viên để tôi tiếp tục phát triển luận văn, có điều kiện nghiên cứu chi tiết về SDR.