

Tổng quan về NRF24L01

Các chân quan trọng của ic

- Chân CE (chip enable) được dùng để enable/disable mô đun và được điều khiển bởi vi điều khiển
- Các chân CSN, SCK, MOSI và MISO của giao thức truyền SPI
- Chân ngắt IRQ báo cho vi điều khiển

| Pin | Name | Pin function | Description |
|-----|------|----------------|--|
| 1 | CE | Digital Input | Chip Enable Activates RX or TX mode |
| 2 | CSN | Digital Input | SPI Chip Select |
| 3 | SCK | Digital Input | SPI Clock |
| 4 | MOSI | Digital Input | SPI Slave Data Input |
| 5 | MISO | Digital Output | SPI Slave Data Output, with tri-state option |
| 6 | IRQ | Digital Output | Maskable interrupt pin. Active low |

- Điện áp tối đa 3.6V

| Symbol | Parameter (condition) | Notes | Min. | Typ. | Max. | Units |
|--------|---------------------------------------|-------|------|------|------|-------|
| VDD | Supply voltage | | 1.9 | 3.0 | 3.6 | V |
| VDD | Supply voltage if input signals >3.6V | | 2.7 | 3.0 | 3.3 | V |
| TEMP | Operating Temperature | | -40 | +27 | +85 | °C |

Table 3. Operating conditions

Chế độ hoạt động (operating mode)

- Có tổng cộng 6 chế độ hoạt động, tuy nhiên ta sẽ chỉ tập chung làm về 2 chế độ gửi và nhận dữ liệu Tx/Rx

| Mode | PWR_UP register | PRIM_RX register | CE | FIFO state |
|------------|-----------------|------------------|-------------------------|--|
| RX mode | 1 | 1 | 1 | - |
| TX mode | 1 | 0 | 1 | Data in TX FIFO. Will empty all levels in TX FIFO ^a . |
| TX mode | 1 | 0 | minimum 10μs high pulse | Data in TX FIFO. Will empty one level in TX FIFO ^b . |
| Standby-II | 1 | 0 | 1 | TX FIFO empty |
| Standby-I | 1 | - | 0 | No ongoing packet transmission |
| Power Down | 0 | - | - | - |

Gửi dữ liệu tới NRF24L01

Giao tiếp với ic (trang 45/74 của datasheet)

- Sử dụng giao thức truyền SPI với chân CSN, SCK, MOSI, MISO
- Cấu hình SPI:
 - Baudrate < 8Mbits/s (< 8MHz)
 - CPOL = 0; chân SPI_SCLK reset về LOW khi không truyền
 - CPHA = 0; lấy mẫu data từ cạnh đầu của clock
 - Gửi bit có trọng số cao trước (MSB first)
 - Khung dữ liệu có 8bits
- Chân ngắt IRQ được active low và được điều khiển bởi 3 nguồn ngắt của ic
- Chân CE được active high để báo cho ic chạy ở chế độ Tx hay Rx
- Truyền dữ liệu qua SPI tuân thủ format sau:
 - Đối với Command word (1byte dữ liệu): gửi bit có trọng số cao trước (MSBit first)
 - Đối với Data buffer (nhiều byte dữ liệu): gửi byte có trọng số thấp trước (LSByte first). Trong mỗi byte đó, gửi bit cps trọng số cao trước (MSBit first)

Ví dụ: Gửi 3 bytes dữ liệu `data[3] = {0xAF, 0xA3, 0x24}` thì sẽ gửi byte có trọng số thấp trước là `data[0] = 0xAF` (đổi sang nhị phân `0b1010 1111`). trong byte đó, sẽ gửi bit có trọng số cao trước, vậy sẽ gửi theo trình tự 1,1,1,1, 0,1,0,1.

Đọc Viết và các Command word (bảng 16, trang 46/74 của datasheet)

- 2 lệnh được sử dụng nhiều nhất là Viết và Đọc giá trị từ thanh ghi của NRF24L01:
 - Lệnh viết W_Register: gửi byte có giá trị `0b001AAAAA` trước (trong đó AAAAA là địa chỉ của thanh ghi cần viết vào) rồi mới gửi data sau đó.

- Lệnh đọc R_Register: gửi byte có giá trị 0b000AAAAA trước (trong đó AAAAA là địa chỉ của thanh ghi cần viết vào) sau đó gửi một dummy data có giá trị bất kì thì ic sẽ gửi lại giá trị của thanh ghi đó.
- Đối với các lệnh còn lại trong bảng 16, chỉ cần gửi 1 byte command word là được, không cần phải thêm data gì theo sau.

Các thanh ghi của NRF24L01 (bảng 24, từ trang 53/74 của datasheet)

- xem ghi chú trong datasheet

Cấu hình chung cho NRF24L01

Chế độ hoạt động Rx và Tx sẽ có cách cấu hình khác nhau, phần này sẽ là phần cấu hình hoạt động chung cho cả 2 chế độ. Để dùng 1 chế độ cụ thể, ta sẽ viết thêm 2 hàm Rx_mode và Tx_mode, trong đó cấu hình thêm để phục vụ cho chế độ tương ứng, ở phần sau.

Để cấu hình hoạt động cho NRF24L01, ta kéo chân CE xuống LOW rồi cấu hình các thanh ghi sau:

Thanh ghi CONFIG (địa chỉ 0x00):

- bit0 **PRIM_RX**: để chọn chế độ chạy Tx/Rx, tuy nhiên ta sẽ viết một hàm riêng dùng để đổi qua lại giữa các mode → để tạm 0
- bit1 **PWR_UP**: bật tắt nguồn, chỉ bật lên sau khi đã chỉnh bit0, nên ta sẽ cho vào cùng hàm đổi mode với bit0 → để tạm 0
- bit2 **CRC** và bit3 **EN_CRC**: tạm thời chỉ tìm hiểu về Tx và Rx nên k dùng → đặt bằng 0
- bit4-7: liên quan tới interrupt, ta chưa dung đến → để tạm 0

→ vậy thanh ghi CONFIG có giá trị 0x00

Thanh ghi EN_AA (địa chỉ 0x01)

- thanh ghi này có tác dụng kích hoạt Auto Acknowledgement sau khi đã nhận đc data của khối Rx, tuy nhiên ta chưa dung tới nên để tạm hết bằng 0

→ vậy thanh ghi EN_AA có giá trị 0x00

Thanh ghi RX_ADDR (địa chỉ 0x02)

- Thanh ghi này có chức năng kích hoạt các data pipe của quá trình nhận data Rx. Vì là cấu hình hoạt động chung, nên ta cũng chưa cần dung tới → để tạm tất cả là 0

→ Vậy thanh ghi RX_ADDR có giá trị là 0x00

Thanh ghi **SETUP_AW** (địa chỉ 0x03)

- Mỗi mô đun NRF24L01, khi ở chế độ Rx hoặc Tx, đều có 1 địa chỉ của Rx hoặc Tx tương ứng
- Thanh ghi này để chỉnh kích thước của địa chỉ Rx và địa chỉ Tx. Ta sẽ để nó là 5 bytes → gửi giá trị 0x03

→ Vậy thanh ghi SETUP_AW có giá trị 0x03

Thanh ghi **SETUP_RETR** (địa chỉ 0x04)

- Thanh ghi này dùng để kích hoạt chức năng retransmission (bộ Tx gửi lại data khi không nhận được auto acknowledgment từ bộ Rx)
- Bit0-3 **ARC**: chỉnh số lần gửi lại tối đa
- Bit4-7 **ARD**: khoảng thời gian tính từ lúc gửi xong đến lúc gửi lại
- Ta chưa dùng tới nên để tạm tất cả bằng 0

→ Vậy thanh ghi SETUP_RETR có giá trị 0x00

Thanh ghi **RF_CH** (địa chỉ 0x05)

- Thanh ghi này dùng để chỉnh kênh sóng RF (tần số hoạt động của sóng RF)
- Ta sẽ chỉnh kênh sóng trong hàm cài đặt chế độ Rx_mode và Tx_mode sau → để tạm tất cả bằng 0

→ Vậy thanh ghi RF_CH có giá trị 0x00

Thanh ghi **RF_SETUP** (địa chỉ 0x06)

- Thanh ghi này có chức năng điều chỉnh Air Data Rate (tốc độ truyền dữ liệu qua sóng RF, đơn vị là Mbit/s) và RF Power (công suất của sóng RF, đơn vị là dBm)
- Bit1-2 RF_PWR: chỉnh công suất tối đa 0dBm → để giá trị 11
- Bit3 RF_DR: chỉnh data rate tối đa 2Mbit/s → để giá trị 1

→ Vậy thanh ghi RF_SETUP có giá trị 0x0E

Cấu hình chế độ Tx cho NRF24L01

Sau khi đã cấu hình chung cho NRF24L01, để cấu hình cho nó chạy ở chế độ Tx, làm theo các bước sau:

- **Bước 1:** chọn kênh sóng RF (tần số hoạt động) bằng cách gửi một số từ 1 đến 64 (tương ứng kênh 1 đến kênh 64) đến thanh RF_CH, các mô đun đều phải hoạt động trên cùng 1 tần số
- **Bước 2:** chỉnh địa chỉ Tx bằng cách gửi 5 byte (địa chỉ mong muốn) đến thanh TX_ADDR, địa chỉ này phải giống địa chỉ Rx của mô đun còn lại
- **Bước 4:** khởi động NRF24L01 ở chế độ Tx bằng cách set bit1 của thanh CONFIG lên 1 và reset bit0 thanh CONFIG về 0
- **Bước 5:** kéo chân CE lên HIGH

Chú ý:

- Các mô đun NRF24L01 phải giao tiếp trên cùng 1 tần số sóng RF (đồng nghĩa với việc giá trị thanh RF_CH phải giống nhau)
- Khi ở chế độ Rx, mỗi mô đun có 5 Rx data pipe với các địa chỉ khác nhau. Vì vậy, để một mô đun ở chế độ Tx có thể gửi đến đúng Rx data pipe, địa chỉ Tx phải giống địa chỉ Rx data pipe mà bạn muốn gửi tới
- Có tổng cộng 5 Rx data pipe

Truyền gửi data khi ở chế độ Tx với NRF24L01

Truyền gửi data:

- Để gửi data, ta cần truyền một mảng gồm 33 byte qua SPI, trong đó byte đầu tiên là lệnh W_TX_PAYLOAD (có giá trị là 0xA0), theo sau nó là 32 bytes data muốn gửi.

Kiểm tra kết quả:

- Sau khi đã truyền gửi data tới NRF24L01 xong, để biết ic đã truyền data đó đi chưa, ta có thể kiểm tra bằng cách xem Tx FIFO đã rỗng chưa bằng cách đọc bit4 TX_EMPTY của thanh ghi FIFO_FLAG (1 - không có data trong Tx FIFO, 0 – còn data trong Tx FIFO).

Giới thiệu về các Rx data pipe

- Mỗi mô đun khi chạy ở chế độ Rx có 5 Rx data pipe
- Mỗi Rx data pipe sẽ có một địa chỉ riêng
- Để cài địa chỉ cho pip 0 hoặc pipe 1, ta gửi 1 mảng 5 byte chứa địa chỉ ta muốn đến thanh ghi RX_ADDR_P0 hoặc RX_ADDR_P1
- Để cài địa chỉ cho các pipe còn lại (pip 2-5), thì cần cài địa chỉ cho pipe 1 trước, sau đó gửi 1 byte địa chỉ của byte muốn cài tới RX_ADDR_Pn (**n** là pipe muốn cài, pipe 3 thì **n** bằng 3). Coi ví dụ bên dưới để dễ hiểu

Ví dụ:

- cài địa chỉ của pipe 1 bằng cách gửi mảng Add[5] = {0xFF, 0xEE, 0xDD, 0xCC, 0xBB} tới thanh ghi RX_ADDR_P1, thì địa chỉ của Rx data pipe 1 sẽ là 0xBBCCDDEEFF
- để cài địa chỉ của pipe 3, ta gửi 1 byte Add = 0x00 tới RX_ADDR_P3. khi đó, Rx data pipe 3 có địa chỉ là 0xBBCCDDEE00

Cấu hình chế độ Rx cho NRF24L01

Sau khi đã cấu hình chung cho NRF24L01, để cấu hình cho nó chạy ở chế độ Rx, làm theo các bước sau:

- **Bước 1:** chọn kênh sóng RF (tần số hoạt động) bằng cách gửi một số từ 1 đến 64 (tương ứng kênh 1 đến kênh 64) đến thanh RF_CH, các mô đun đều phải hoạt động trên cùng 1 tần số
- **Bước 2:** Enable Rx data pipe 1 bằng cách set bit1 của thanh ghi EN_RXADDR
- **Bước 3:** chỉnh địa chỉ Rx của Rx data pipe 1 bằng cách gửi 5 byte (địa chỉ mong muốn) đến thanh TX_RX_PW_P1
- **Bước 4:** chỉnh kích thước data mà Rx data pipe 1 có thể chứa lên mức cao nhất là 32 byte bằng cách ghi 32 vào thanh ghi RX_PW_P1
- **Bước 5:** khởi động NRF24L01 ở chế độ Rx bằng cách set bit0 và bit1 của thanh CONFIG lên 1
- **Bước 6:** kéo chân CE lên HIGH

Chú ý:

- Các mô đun NRF24L01 phải giao tiếp trên cùng 1 tần số sóng RF (đồng nghĩa với việc giá trị thanh RF_CH phải giống nhau)
- Khi ở chế độ Rx, mỗi mô đun có 5 Rx data pipe với các địa chỉ khác nhau. Vì vậy, để một mô đun ở chế độ Tx có thể gửi đến đúng Rx data pipe, địa chỉ Tx phải giống địa chỉ Rx data pipe mà bạn muốn gửi tới
- Có tổng cộng 5 Rx data pipe

Kiểm tra xem Rx data pipe đã nhận được data chưa

Vì ta không dùng tới tính năng interrupt với chân IRQ, nên ta sẽ phải tự kiểm tra xem đã nhận được data truyền gửi không đây chưa

Kiểm tra điều kiện

- Để kiểm tra xem mô đun đã nhận được data chưa, ta phải đọc 1 byte giá trị của thanh ghi STATUS và chú ý tới các bit sau:
Bit6: đây là cờ ngắt báo hiệu đã nhận được data Rx
Bit1-3: bit này báo hiệu Rx data pipe nào có data bên trong
 - 0b000 – 0b101: Rx data pipe 0-5
 - 0b111: tất cả data pipe đều rỗng
- Nếu thỏa mẫu điều kiện: “bit6 đang có giá trị 1, và bit1-3 có giá trị bằng Rx data pipe mà bạn muốn kiểm tra (giá trị 0-5)”. Thì có thể đọc data từ Rx data pipe đó (hướng dẫn ở phần sau)

Xóa cờ ngắt

- Sau khi đã kiểm tra xong, ta cần xóa cờ ngắt bằng cách ghi 1 vào bit6 của thanh ghi STATUS

Đọc data nhận được khi ở chế độ Rx với NRF24L01

Đọc data nhận được:

- Để đọc được Rx data, cần gửi lệnh R_RX_PAYLOAD, theo sau đó là 32 dummy data. Xen kẽ giữa các lần gửi dummy data đó, ta có thể đọc 32 bytes liên tiếp từ Rx payload và lưu chúng vào 1 Rx buffer
- Sau khi đã đọc hết 32byte đó, xóa hết data trong Rx FIFO bằng cách gửi lệnh FLUSH_RX

Chú ý:

- Data nhận về là một chuỗi 32 bytes (tương đương 32 kí tự char)
- Đôi khi data truyền nhận sẽ bé hơn 32 byte, dẫn đến việc đoạn data thừa ra sẽ là một chuỗi có giá trị 0x00 (tương ứng kí tự \0)
- Nếu cần thiết phải loại bỏ các data thừa này, ta có thể dùng hàm strlen() trong thư viện string.h để trả về kích thước của chuỗi tính tới tới kí tự \0 đầu tiên từ trái qua
- Sau đó ta có thể cấp phát bộ nhớ động với hàm malloc trong thư viện stdlib.h để cấp phát một mảng có kích thước vừa đủ để chứa chuỗi đó
- Việc còn lại chỉ là copy chuỗi từ Rx buffer sang mảng được tạo từ hàm malloc đó thôi.