

PSI2662 – Projeto em Sistemas Eletrônicos Embarcados: Sensores e Atuadores

Rede Wireless usando o Tranceptor nRF24L01+

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

Prof. Gustavo Rehder – grehder@lme.usp.br



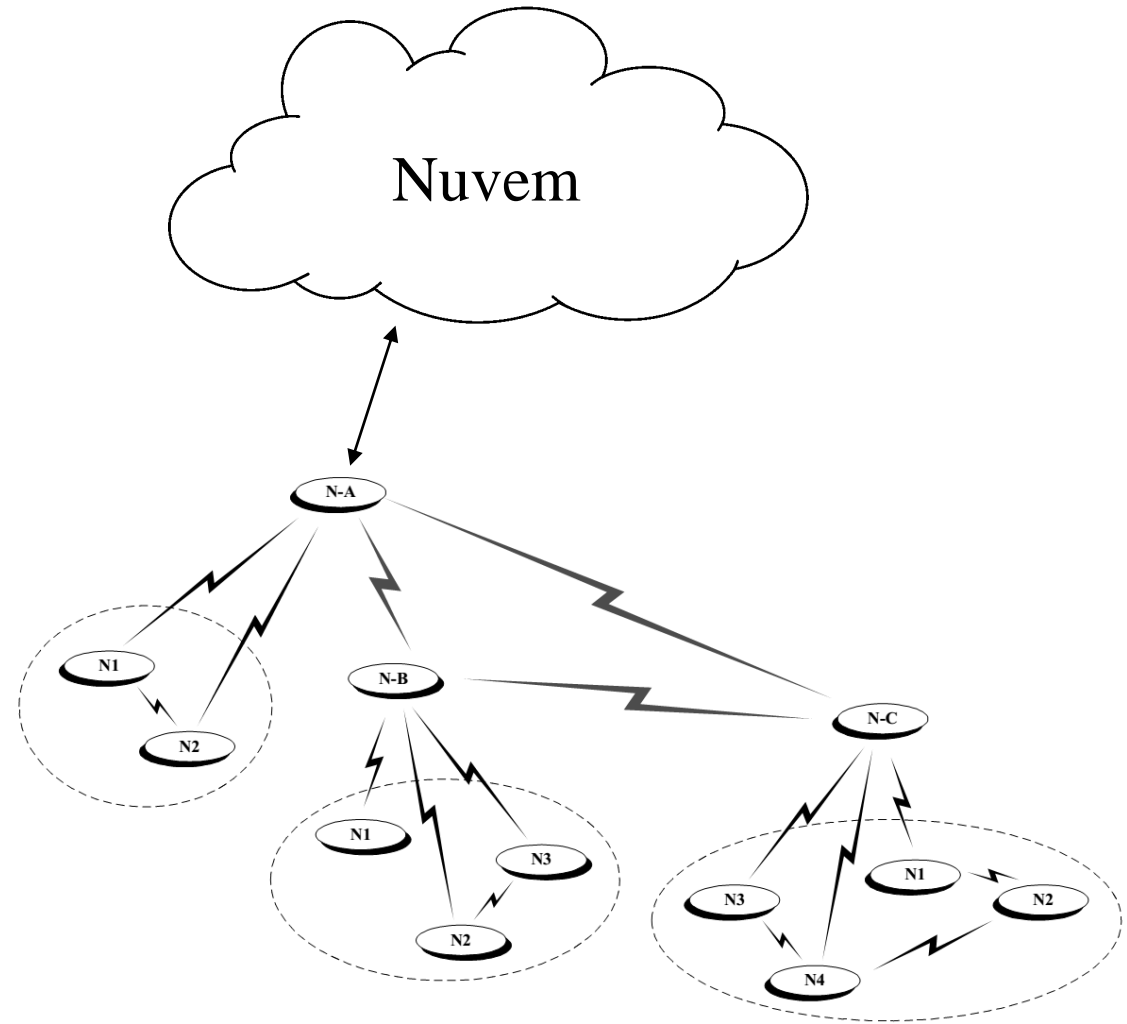
Segundo Semestre de 2015



Rede Wireless

Requisitos?

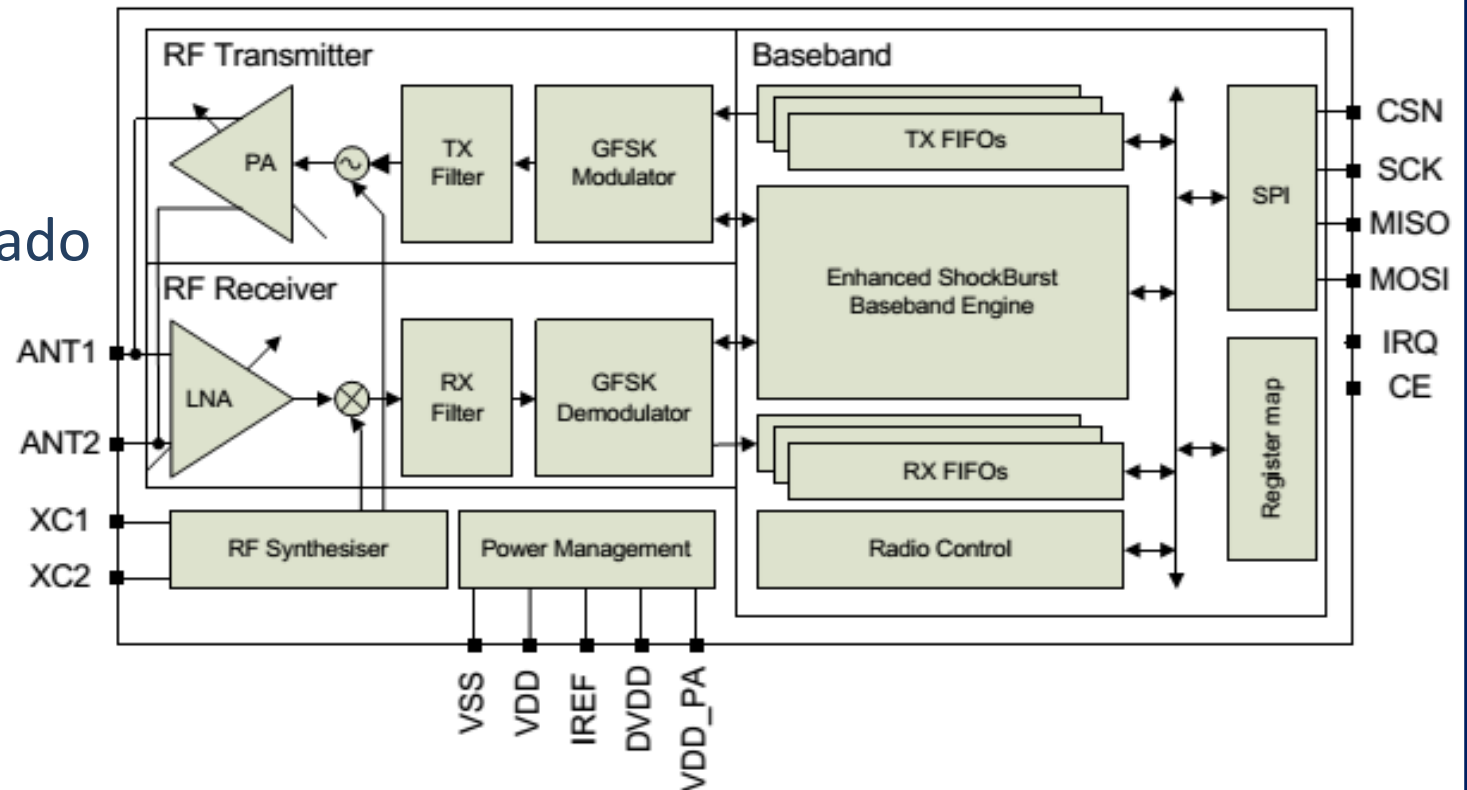
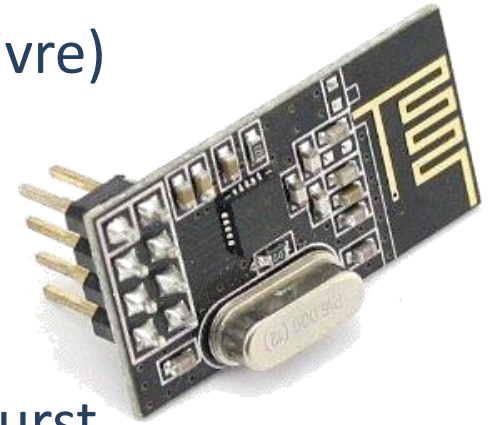
- Volume de dados
- Consumo elétrico
- Alcance
- Confiabilidade
- Tempo de resposta
- Mobilidade





Módulo Tranceptor nRF24L01+ (Nordic)

- opera em 2,4 GHz (2,4 a 2,525 GHz) na banda ISM (livre)
- 125 canais a 1 Mbps ou 63 canais a 2 Mbps
- Modulação GFSK
- 11.3 mA de consumo máximo
- Protocolo proprietário da Nordic – Enhanced ShockBurst
- 6 pipes
- Comunicação SPI
- Regulador integrado de 1,9 a 3,6 V
- Half duplex





Modos de Operação

Power Down:

- PWR_UP do Config = 0
- Consumo 0,9 μ A
- Registradores mantidos

Standby:

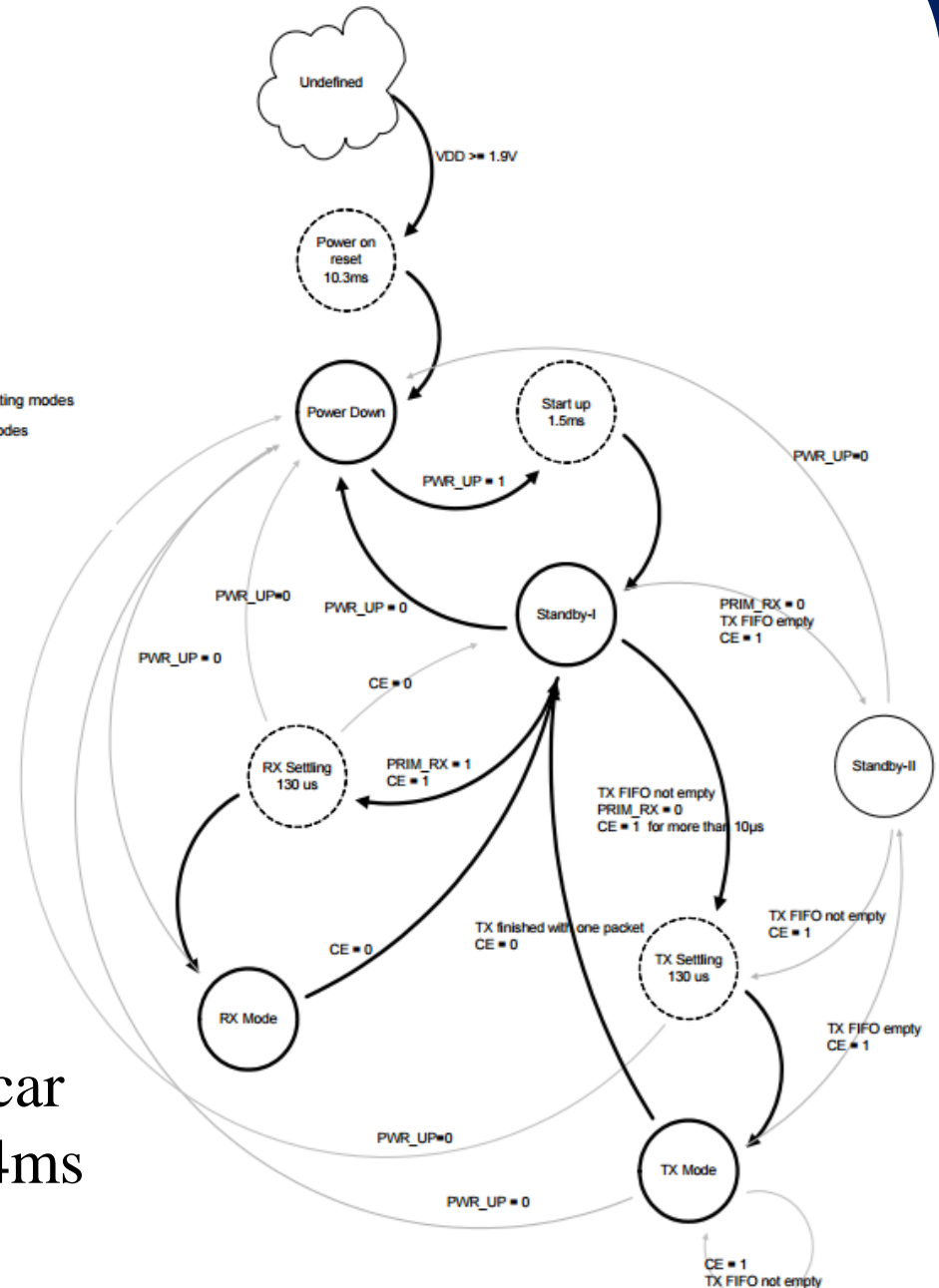
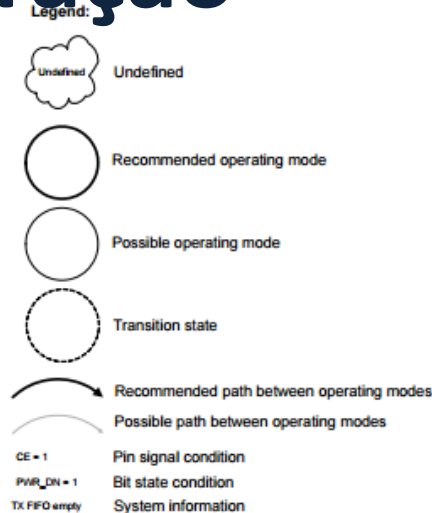
- PWR_UP do Config = 1
- Consumo 22 μ A

RX:

- PWR_UP do Config = 1
- PRIM_RX do Config = 1
- Pino CE = 1
- Consumo 12,3 mA

TX:

- PWR_UP do Config = 1
- PRIM_RX do Config = 0
- Pino CE = 1 ($> 10 \mu$ s)
- Consumo 11,3 mA



Não pode ficar por mais de 4ms



Comunicação entre Módulos

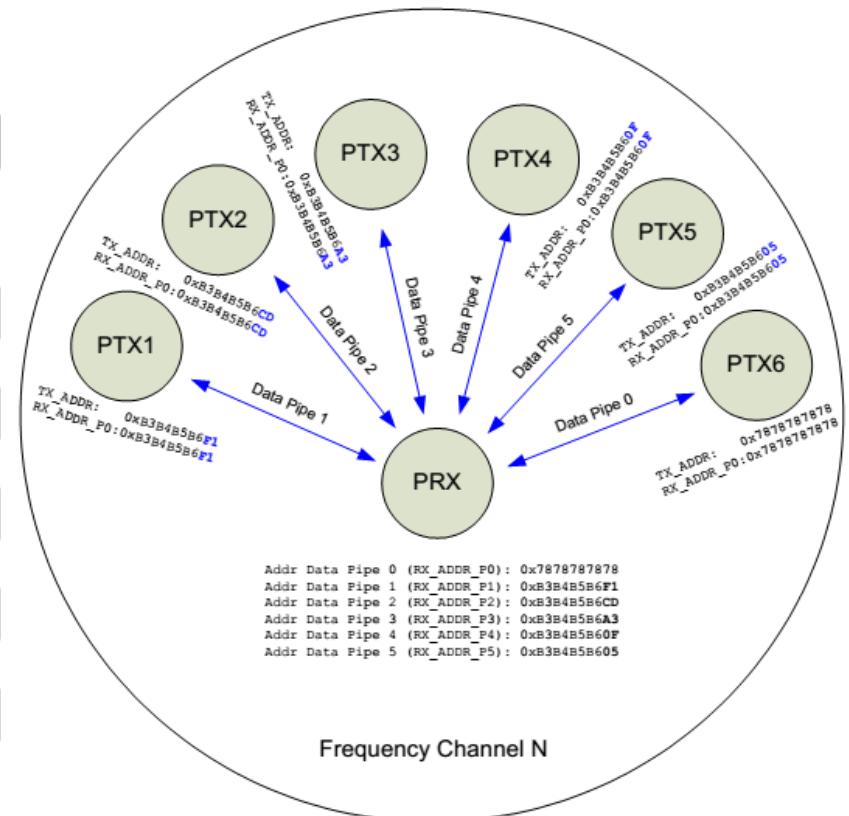
- Módulos nRF24L01+ para se comunicarem precisam ser configurados para terem o(a) mesmo(a):
 - frequência;
 - taxa de transferência (air data rate) ;
 - endereço;
 - número de bytes no pacote de dados (payload length);
 - CRC habilitado/desabilitado;
 - codificação do CRC;
 - Ganho do LNA.



Endereçamento

- O módulo nRF24L01+ possui 6 canais lógicos (pipes) com endereço único na mesma frequência;
- Os pipes são habilitados no registrador EN_RXADDR;
- Os endereços são setados no registrador RX_ADDR_PX;

	Byte 4	Byte 3	Byte 2	Byte 1	Byte 0
Data pipe 0 (RX_ADDR_P0)	0xE7	0xD3	0xF0	0x35	0x77
Data pipe 1 (RX_ADDR_P1)	0xC2	0xC2	0xC2	0xC2	0xC2
Data pipe 2 (RX_ADDR_P2)	0xC2	0xC2	0xC2	0xC2	0xC3
Data pipe 3 (RX_ADDR_P3)	0xC2	0xC2	0xC2	0xC2	0xC4
Data pipe 4 (RX_ADDR_P4)	0xC2	0xC2	0xC2	0xC2	0xC5
Data pipe 5 (RX_ADDR_P5)	0xC2	0xC2	0xC2	0xC2	0xC6





Guia para Escolha de Endereços

- O endereço pode ter 5, 4 ou 3 bytes;
- Não é recomendado utilizar bytes iguais como 0x00 ou 0xFF, pois aumenta a taxa de erro de transmissão;
- Endereços onde o nível muda só uma vez, como 0x00 0F FF FF FF, podem ser detectados frequentemente no ruído, aumentando a taxa de erro.
- O primeiro byte não deve começar com 55 ou AA, pois podem ser interpretados como parte do preâmbulo do pacote.



Taxa de transmissão (Air Data Rate)

- 125 canais a 1 Mbps
 - 63 canais a 2 Mbps
- } Distribuídos entre 2,4 e 2,525 GHz
- 1 Mbps tem 3 dB a mais de sensibilidade no receptor
 - 2 Mbps menos consumo de corrente e menor probabilidade de colisões (on-air collisions).
 - Enhanced ShockBurst – camada de link de dados:
 - de 1 a 32 bytes por pacote (dynamic payload length)
 - Auto reconhecimento (Acknowledgement)
 - Auto retransmissão



Redução do Consumo

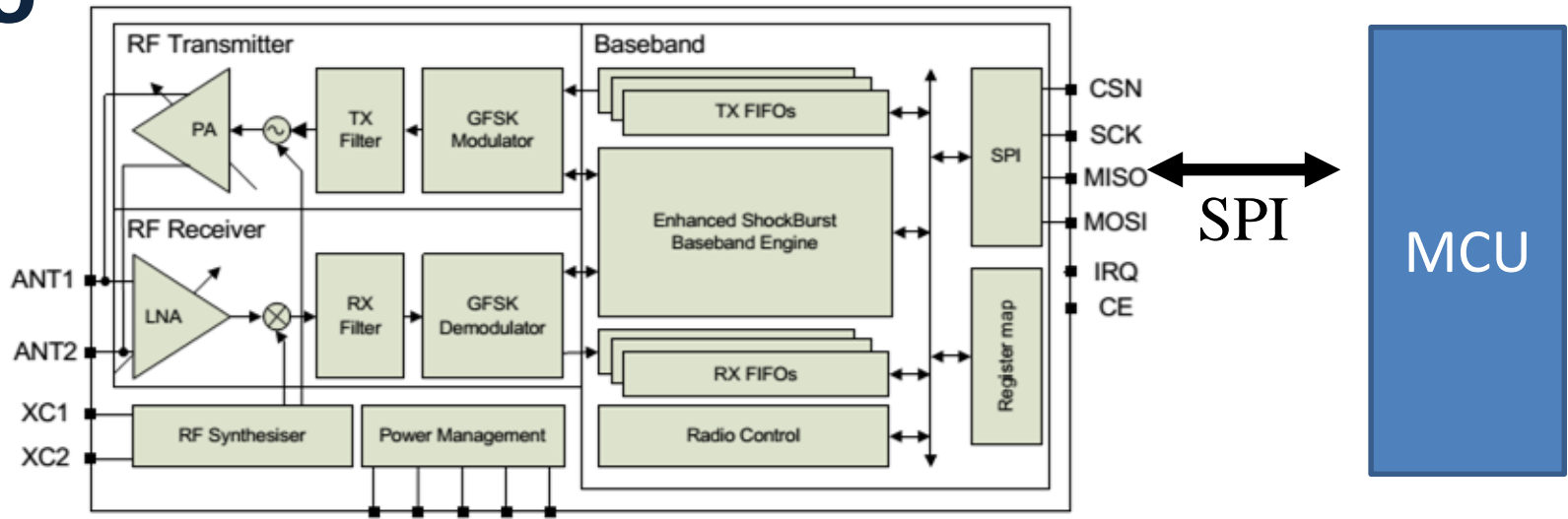
- Diminuir a potência de saída do PA

SPI RF-SETUP (RF_PWR)	RF output power	DC current consumption
11	0dBm	11.3mA
10	-6dBm	9.0mA
01	-12dBm	7.5mA
00	-18dBm	7.0mA

- Reduzir ganho do LNA (LNA_HCURRE e RF_SETUP):
 - leva a uma redução do consumo de 0,8 mA, mas também reduz a sensibilidade do receptor em 1,5 dB.
- Usar taxa de transmissão de 2 Mbps



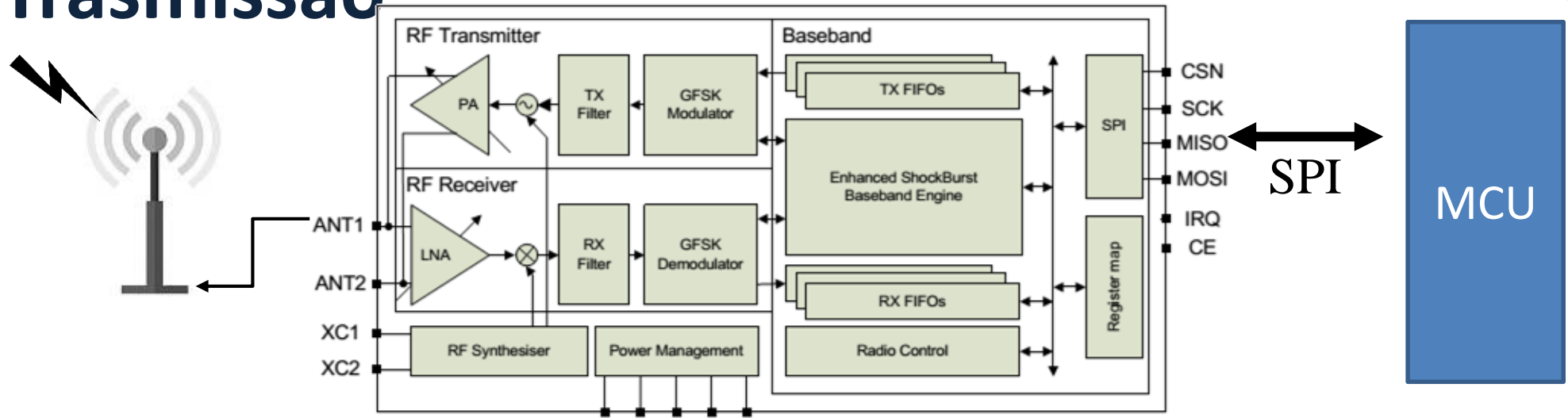
Recepção



- Quanto `PWR_UP` do Config = 1, `PRIM_RX` do Config = 1 e Pino `CE` = 1, o módulo entra em mode Recepção;
- Neste modo o ShockBurst procura constantemente endereços válidos no sinal demodulado;
- Achando um endereço válido, processa o restante do pacote e valida-o por CRC (Cyclic Redundancy Check);
- Se o pacote for válido, os dados (payload) são passados para o FIFO RX e o bit `RX_DR` do registrador `STATUS` é setado. O pipe que está disponível para leitura é indicado através do bit `RX_P_NO`;
- Automaticamente o ShockBurst monta e transmite uma mensagem de reconhecimento (ACK) e volta para o modo de recepção.



Transmissão

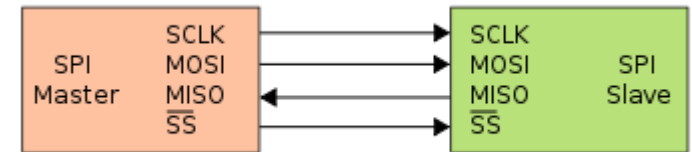


- Quanto PWR_UP do Config = 1, PRIM_RX do Config = 0, o FIFO TX não está vazio e Pino CE = 1, o módulo entra em modo Transmissão e transmite o pacote;
- O ShockBurst seta automaticamente o módulo no modo recepção e aguarda um pacote de reconhecimento (ACK);
- Se o ACK não é recebido em um determinado tempo (ACD) o ShockBurst irá retransmitir a mensagem original e aguardará novamente o ACK. Este processo se repete um número definido de vezes (ARC).
- Caso um ACK é recebido o bit TX_DS do registrador STATUS é setado e o módulo retorna ao modo Standby-I



Comunicação com o nRF24L01+

- SPI (serial peripheral interface)



- **IRQ** (ativo em “0”)

- **CE** (ativo em “1” – usado para ativar o módulo nos modos RX e TX)

- **CSN** (Enable - SPI)

- **SCK** (Clock - SPI)

- **MOSI** (Master-out Slave-in - SPI)

- **MISO** (Master-in Slave-out - SPI)

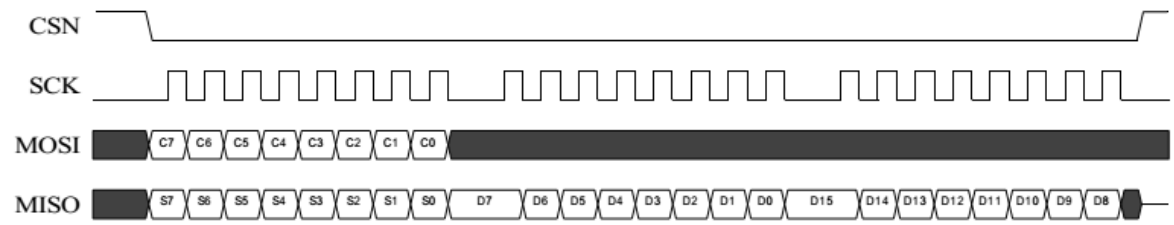


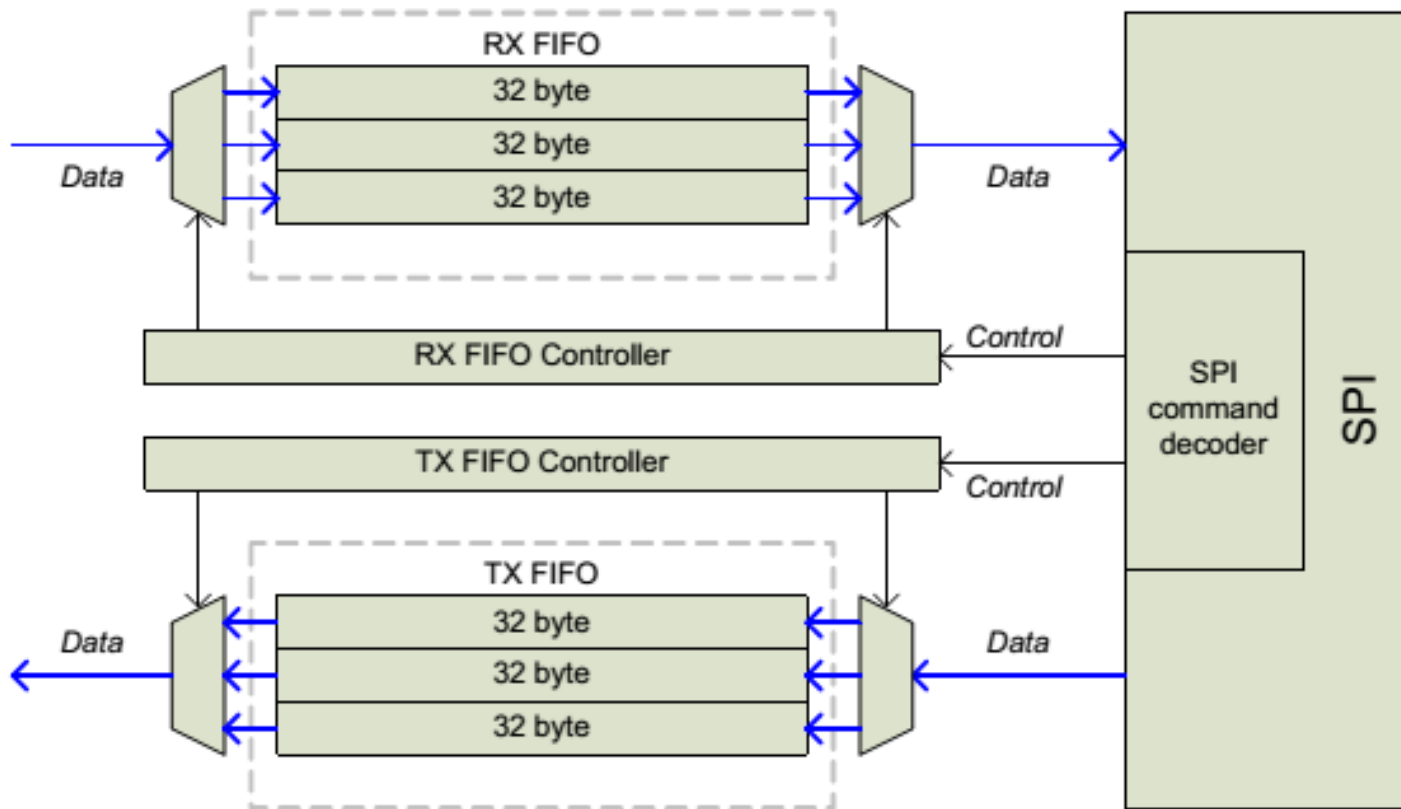
Figure 23. SPI read operation

- Comandos especiais para acessar funções



FIFO (First-In First-Out)

- Comando W_TX_PAYLOAD – escreve Payload no FIFO TX;
- Comando R_RX_PAYLOAD - Lê Payload no FIFO RX

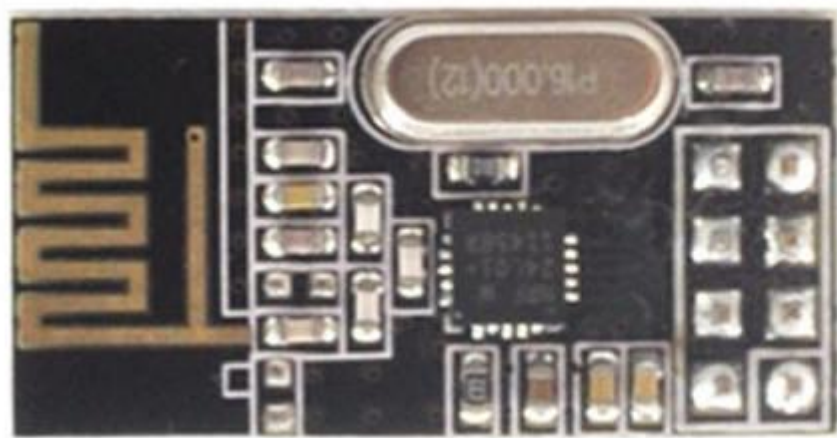




Conexão do nRF24L01+ com a FRDM KL25Z

- PTD2 = MOSI
- PTD3 = MISO
- PTC5 = SCK
- PTD0 = CSN
- PTD5 = CE
- PTA13 = IRQ

SPI 0



- | | | |
|---|---|---------|
| 8 | 7 | 1: GND |
| 6 | 5 | 2: VCC |
| 4 | 3 | 3: CE |
| 2 | 1 | 4: CS |
| | | 5: SCK |
| | | 6: MOSI |
| | | 7: MISO |
| | | 8: IRQ |



Implementação no KL25Z

- biblioteca MBED nRF24L01P by Owen