

🗣️ 初识UART串口与DMA的使用

我们主要用串口来进行单片机与单片机之间的通信，单片机与电脑之间的通信，单片机与外设之间的通信等等，那对于校初选来说，我们要做的应该就是 能让你的数据以一定格式显示在电脑上。后续对于打比赛来说应该是会用到UART调试，与上位机的通信，串口屏的使用等等。

0.1 UART的定义

UART的全称是 `Universal Asynchronous Receiver/Transmitter` 是一种串行、异步、全双工的通信协议。

- `Universal` 是**串行**的意思。串行通信是指利用一条传输线将数据一位位地顺序传送，区别于并行的8个数据位同时传输。

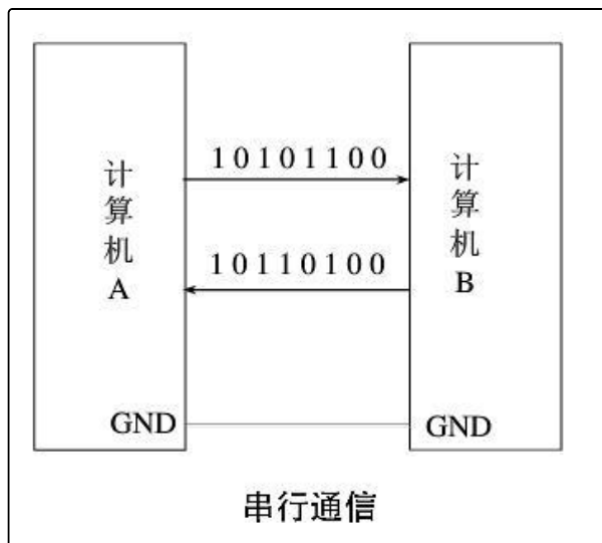


Figure 1

- `Asynchronous` 是**异步**的意思，在异步通讯中，**不使用时钟信号**进行数据同步，它们直接在数据信号中穿插一些同步用的信号位，或者把主体数据进行打包，以数据帧的格式传输数据。例如规定由起始位、数据位、奇偶校验位、停止位等。

某些通讯中还需要双方约定数据的传输速率，以便更好地同步。波特率(bps)是衡量数据传送速率的指标。

由于没有时钟信号作为参考，UART通信双方需要约定一个特定的传输速率，这个传输速率就是**波特率**。

波特率 (Baud Rate) 是指串行通信中每秒传输的符号 (Symbol) 数，单位为 Baud (波特)，常见的有 4800、9600、115200等。

1 Baud = 1 Symbol/s (每秒1个符号)。符号 (Symbol) 常用来表示一个二进制位 (bit)

在UART通信中波特率是核心参数，决定了传输的速度，波特率由硬件定时器生成，公式通常为：

$$\text{波特率} = \frac{\text{系统时钟频率}}{\text{分频系数}}$$

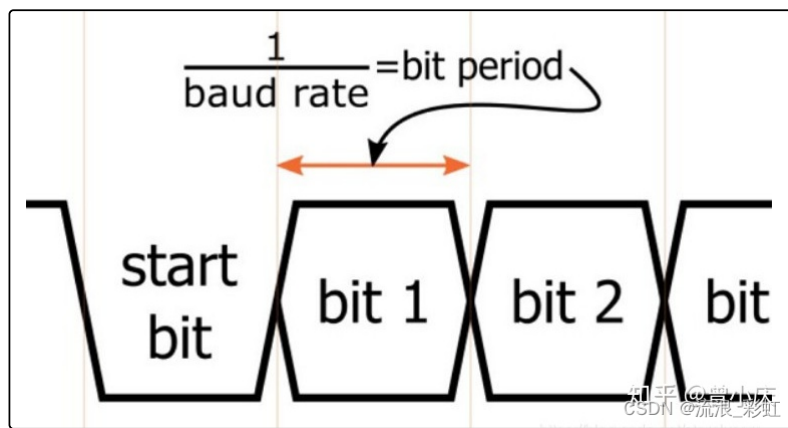


Figure 2

一定要记得根据你使用的东西更改相应波特率，不然就全是乱码了，不要问我怎么知道的。

在固定了传输速率后，我们就可以考虑怎么解析传输过来的信息了

我们用于传输信号的数据线在默认情况下处于高电平，为了让对方知道什么时候开始通信，UART采用拉低电平的方式标志起始位。在发完8位数据后还带有奇偶校验位，停止位等，由此来完成一个通信过程。

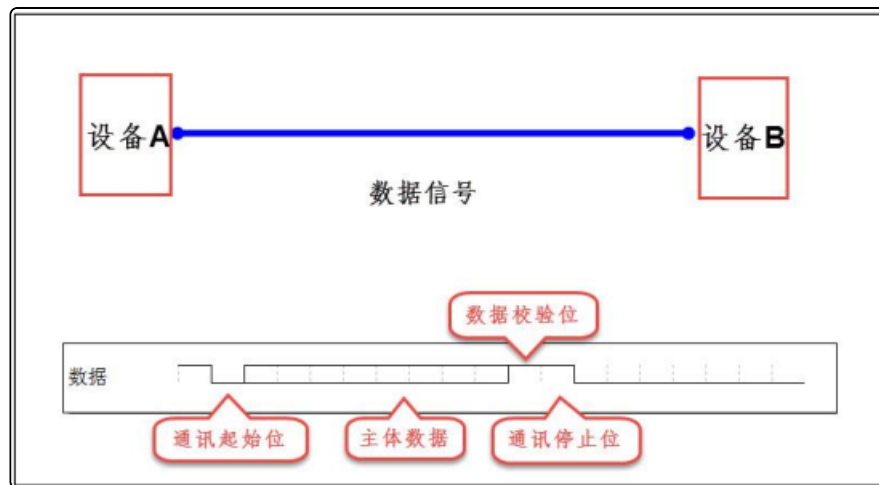


Figure 3

○ Receiver/Transmitter 即表示可以**发送和接收**，这个没有什么好说的。

附上一张通信方式分类的图，大家可以自己额外研究研究每个通信方式的特点

本来笔试题我是负责出这部分的题目的，后来因为题目太多我出的这部分的都被删了(〒_〒)

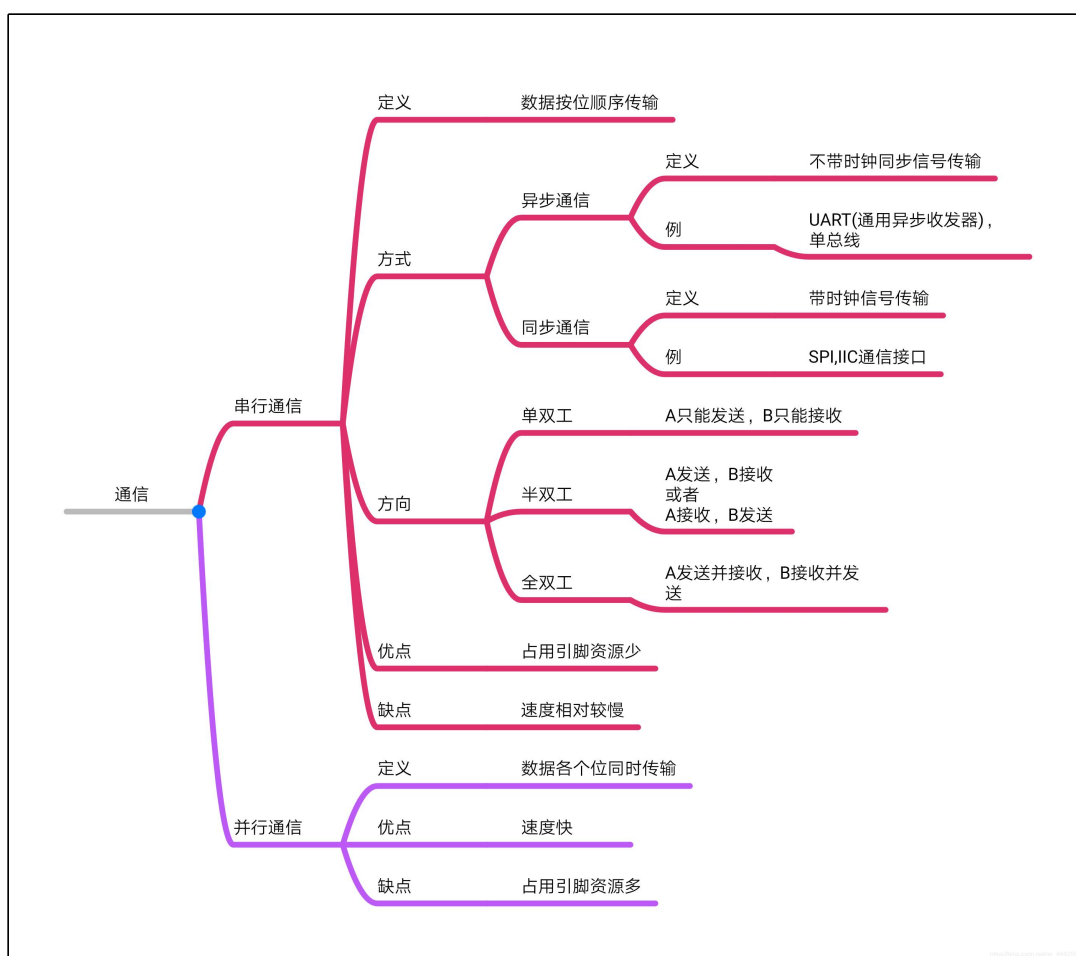


Figure 4

0.1 UART实战

在UART通信中，我们有三种主流的使用方式，即**轮询方式**，**中断方式**以及**空闲中断+DMA方式**

首先我们要新建一个cubemx加Keil的工程，一开始的基础配置相信大家都已经熟练掌握了吧（应该吧），（调试口，晶振，时钟树，每个外设生成.c/.h文件）

不过这次我们要开的外设是UART这个外设

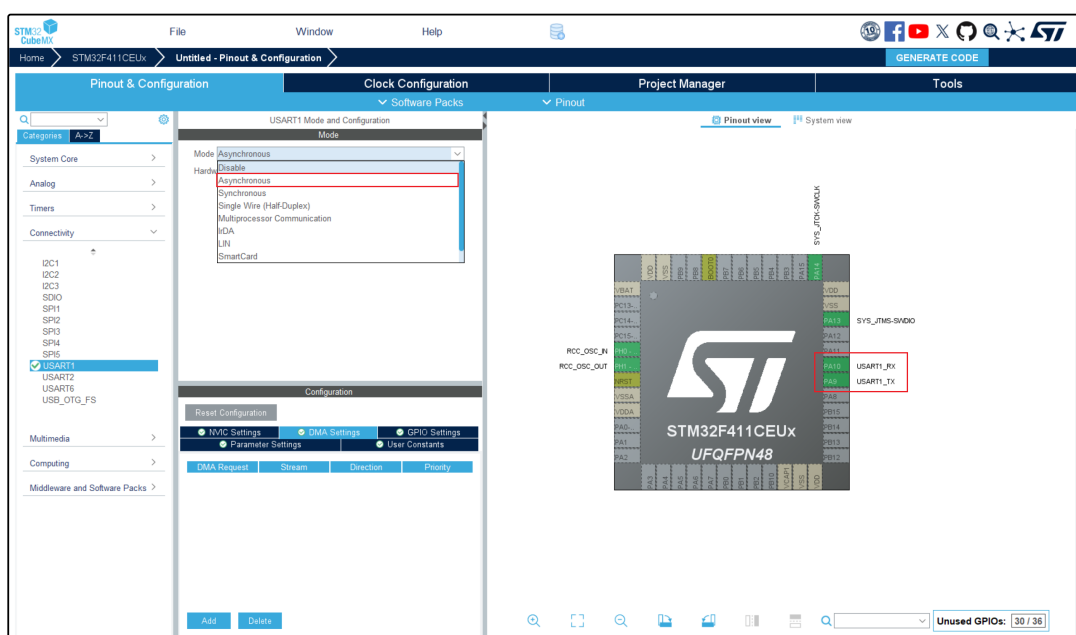


Figure 5

注意这里的 TX 是发送端，RX 是接收端，TX 应该发送给别的外设的 RX，所以说在接线的时候单片机与另一个的串口的 RX 与 TX **反接！反接！反接！**

以及共地用来使电平参考一致 **共地！共地！共地！**

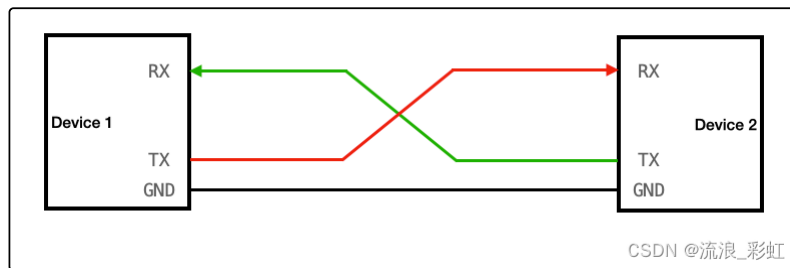


Figure 6

GENERATE **CODE** 之后我们就可以开始编程了。

0.0.1 串口调试助手

但是，在编程之前，为了查看我们串口的效果，需要在电脑上显示出我们串口的内容，我们需要下载一个串口调试的软件叫做 **VOFA+**，安装包在压缩包中

接下来介绍我们的串口代码

0.0.2 轮询方式（阻塞方式）

原理：轮询方式下CPU会不断读取串口寄存器状态。发送数据时，当检测到发送数据寄存器TDR有数据时，调用HAL_UART_Transmit发送数据。接收数据时，当检测到接收寄存器RDR有数据时，调用HAL_UART_Receive接收数据。

缺点：CPU需要不断扫描寄存器状态，在一定程度上加重了CPU的负担，不适用于对系统精度较高的场所

0.0.2.1 发送数据

```
1  /**
2   * @brief 在轮询方式下发送一定数量的数据
3   * @note 1. 该函数连续发送数据，发送过程中通过判断TXE标志来发送下一个数据，通过判断TC标志
4   *        来结束数据的发送。
5   *        2. 如果在等待时间内没有完成发送，则不再发送，返回超时标志
6   * @param huart UART handle.
7   * @param pData 指向发送数据缓冲区的指针 (u8 or u16 data elements).
8   * @param Size 待发送数据的个数(u8 or u16)
9   * @param Timeout 超时等待时间
10  * @retval HAL status
11  */
12 HAL_StatusTypeDef HAL_UART_Transmit(UART_HandleTypeDef *huart, uint8_t *pData, uint16_t
Size, uint32_t Timeout)
```

Fence 1

- huart 指向当前所用的 uart 的句柄
- pData 是要发送的数据
- Size 是数据的大小
- Timeout 是等待数据传输时间

在代码中我们先定义一个需要传输的数组 `message[]`

```
1  /* USER CODE BEGIN PV */
2  char message[] = "Hello World\n";
3  /* USER CODE END PV */
```

Fence 2

```

45
46 /* USER CODE BEGIN PV */
47 char message[] = "Hello World\n";
48 /* USER CODE END PV */
49

```

Figure 7

然后在while循环中将其以1s时间间隔发送

```

1  /* USER CODE BEGIN WHILE */
2  while (1)
3  {
4      HAL_UART_Transmit(&huart1,(uint8_t *)message,13,100);
5      HAL_Delay(1000);
6      /* USER CODE END WHILE */
7
8      /* USER CODE BEGIN 3 */
9  }
10 /* USER CODE END 3 */

```

Fence 3

```

96 /* USER CODE BEGIN WHILE */
97 while (1)
98 {
99     HAL_UART_Transmit(&huart1,(uint8_t *)message,13,100);
100    HAL_Delay(1000);
101    /* USER CODE END WHILE */
102

```

Figure 8

在 VOFA 中选择对应的端口号打开就可以看见发送的数据了



Figure 9

0.0.2.2 接收数据

```
1  /**
2   * @brief 在轮询方式下接收一定数量的数据
3   * @note 1. 该函数连续接收数据，在接收过程中通过判断RXNE标志来接收新的数据
4   *       2. 如果在等待时间内没有完成接收，则不再接收，返回超时标志
5   * @param huart    UART handle.
6   * @param pData    指向接收数据缓冲区的指针(u8 or u16 data elements).
7   * @param Size     待接收数据的个数 (u8 or u16)
8   * @param Timeout  超时等待时间
9   * @retval HAL status
10  */
11 HAL_StatusTypeDef HAL_UART_Receive(UART_HandleTypeDef *huart, uint8_t *pData, uint16_t
12 Size, uint32_t Timeout)
```

Fence 4

参数类似于上面的

接下来我们看看接收函数的效果

```
1  /* USER CODE BEGIN PV */
2  // 定义接收数组
3  uint8_t rx_buf;
4  /* USER CODE END PV */
```

Fence 5

```
1  /* USER CODE BEGIN WHILE */
2  while (1)
3  {
4      //接收数据
5      HAL_UART_Receive(&huart1,&rx_buf,sizeof(rx_buf),HAL_MAX_DELAY);
6      // 把接收到的数据回发
7      HAL_UART_Transmit(&huart1,&rx_buf,sizeof(rx_buf),HAL_MAX_DELAY);
8      /* USER CODE END WHILE */
9
10     /* USER CODE BEGIN 3 */
11 }
12 /* USER CODE END 3 */
```

Fence 6

实现效果如下：



Figure 10

0.0.3 中断方式

上面的这种方式会使程序阻塞在 while 循环中的 `HAL_UART_Receive(&huart1,&rx_buf,sizeof(rx_buf),HAL_MAX_DELAY);` 这条语句中，这很显然是我们不愿意看到的，因此我们可以采用中断的方法，让cpu先去处理别的函数，等到接收到数据，触发中断再回来处理接收到的数据，这种模式就叫做中断模式。

原理：中断就是在寄存器有一个字节数据的时候触发一次中断，而不用一直扫描寄存器状态，节约了系统资源。例如串口接收24字节数据，`HAL_UART_Receive_IT(&huart1, (uint8_t *)&Rx, 1)` 意思就是每来一个字节数据中断一次，中断之后就进入回调函数进行处理，此时Rx是一个uint8_t的字节数据。`HAL_UART_Receive(&huart1, (uint8_t *)Rx, 24)`意思是没来一个字节数据中断一次，等接收到24个字节数据之后再统一进入回调函数之后进行处理，此时Rx是一个uint8_t的数组字节数据。

缺点：虽然解决了轮询不断扫描寄存器状态的缺点，但CPU接收数据会触发中断，对于实时要求高的场所，不适用。

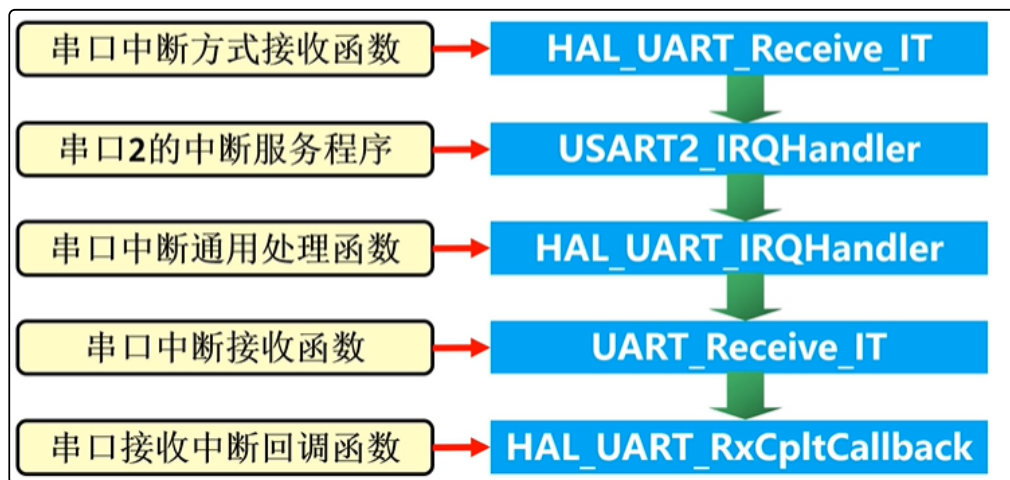


Figure 11

0.0.3.1 发送数据

```
1  /**
2   * @brief  在中断方式下发送一定数量的数据
3   * @param  huart  UART handle.
4   * @param  pData  指向发送数据缓冲区的指针 (u8 or u16 data elements).
5   * @param  Size   待发送数据的个数(u8 or u16)
6   * @retval  HAL status
7   */
8  HAL_StatusTypeDef HAL_UART_Transmit_IT(UART_HandleTypeDef *huart, uint8_t *pData,
9  uint16_t Size)
```

Fence 7

0.0.3.2 接收数据

```
1  /**
2   * @brief  在中断方式下接收一定数量的数据
3   * @param  huart  UART handle.
4   * @param  pData  指向接收数据缓冲区的指针 (u8 or u16 data elements).
5   * @param  Size   待接收数据的个数(u8 or u16)
6   * @retval  HAL status
7   */
8  HAL_StatusTypeDef HAL_UART_Receive_IT(UART_HandleTypeDef *huart, uint8_t *pData,
9  uint16_t Size)
```

Fence 8

接下来看看怎么实现

首先在cubemx中我们需要将中断开启

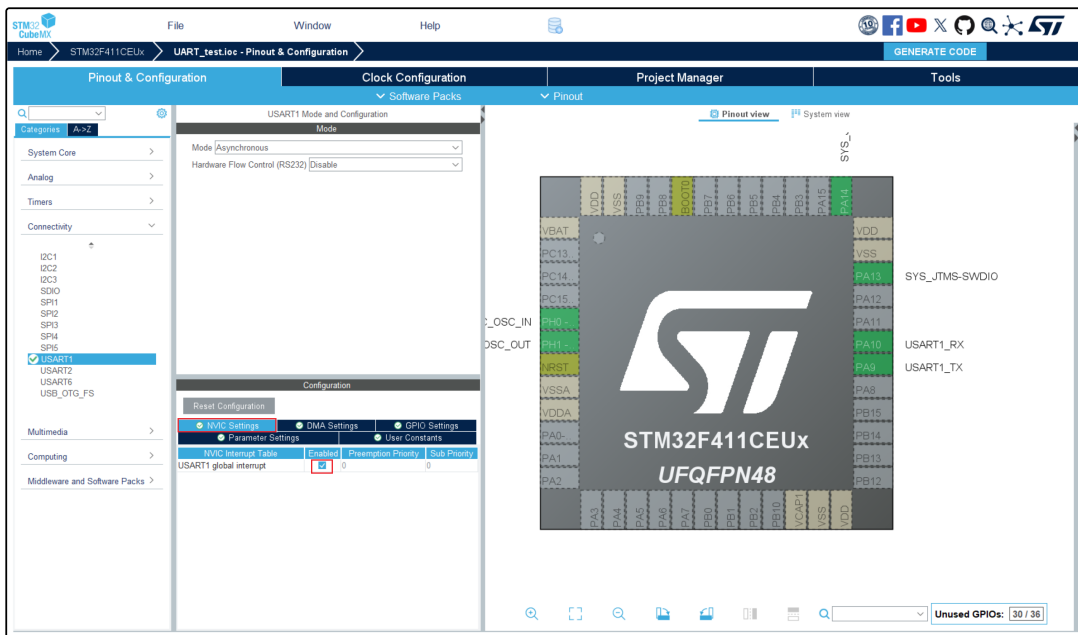


Figure 12

重新 **GENERATE CODE** 应用修改就可以改写我们的代码了

其实改成中断的方式很简单，只需要在原来的语句后面加上 **_IT**，再加一个中断回调函数就好了。

我们先定义一个宏定义大小

```
1  /* USER CODE BEGIN PD */
2  #define DATA_LEN 255
3  /* USER CODE END PD */
```

Fence 9

定义接收数组

```
1  /* USER CODE BEGIN PV */
2  uint8_t rxData[DATA_LEN];
3  /* USER CODE END PV */
```

Fence 10

开启接收

```
1  /* USER CODE BEGIN 2 */
2  HAL_UARTEx_ReceiveToIdle_IT(&huart1, rxData, sizeof(rxData));
3  /* USER CODE END 2 */
```

Fence 11

重定义中断回调函数

```
1  /* USER CODE BEGIN 4 */
2  void HAL_UARTEx_RxEventCallback(UART_HandleTypeDef *huart, uint16_t Size){
3
4      if (huart->Instance == USART1){
5          HAL_UART_Transmit(&huart1, rxData, sizeof(rxData), 100);
6
7          HAL_UARTEx_ReceiveToIdle_IT(&huart1, rxData, sizeof(rxData));
8          memset(rxData, 0, sizeof(rxData));
9      }
10 }
11 /* USER CODE END 4 */
```

Fence 12

我们就可以实现以下效果，和上面的一样

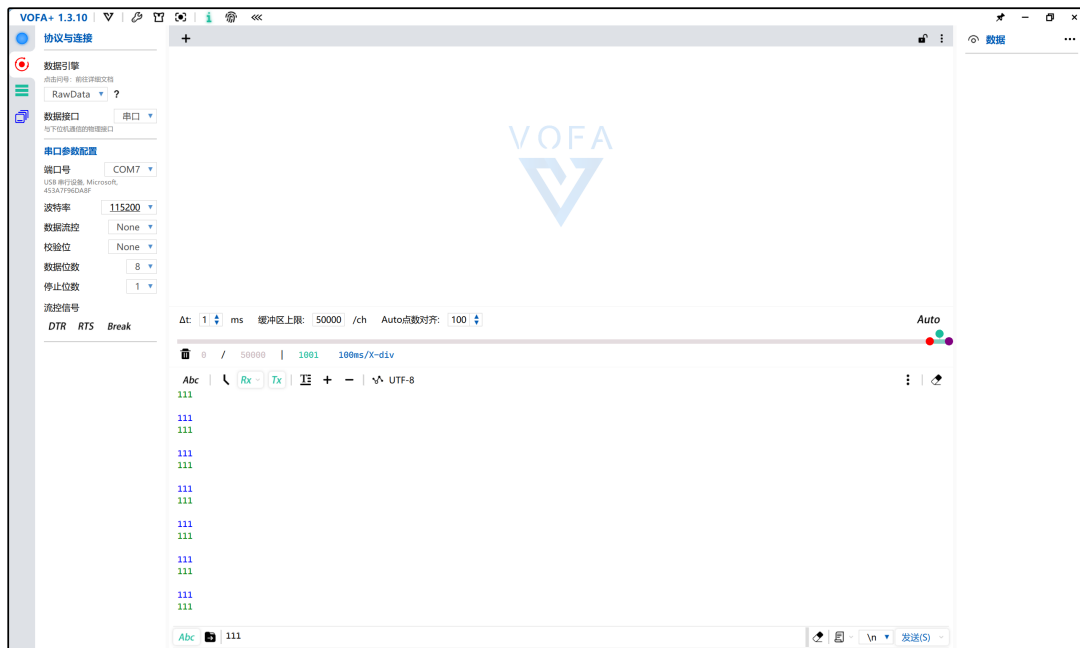


Figure 13

0.1 DMA

在了解空闲中断+DMA方式之前，我们有必要先知道一下什么是 DMA

DMA，全称 Direct Memory Access，即直接存储器访问。

DMA 传输将数据从一个地址空间复制到另一个地址空间，提供在外设和存储器之间或者存储器和存储器之间的高速数据传输，无须CPU干预，节省了CPU的资源。

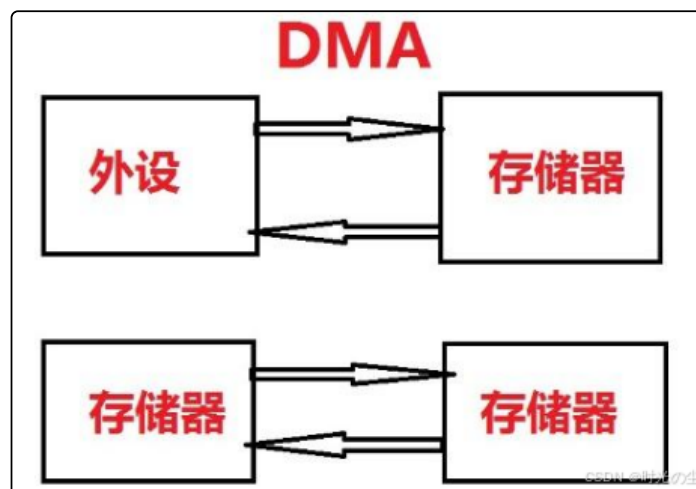


Figure 14

如果没有不通过DMA，CPU传输数据还要以内核作为中转站，例如将ADC采集的数据转移到目标位置中。

而如果通过DMA的话，DMA控制器将获取到的外设数据存储到DMA通道中，然后通过DMA总线与DMA总线矩阵协调，将数据传输到目标位置中，期间不需内核参与。

图21 DMA框图

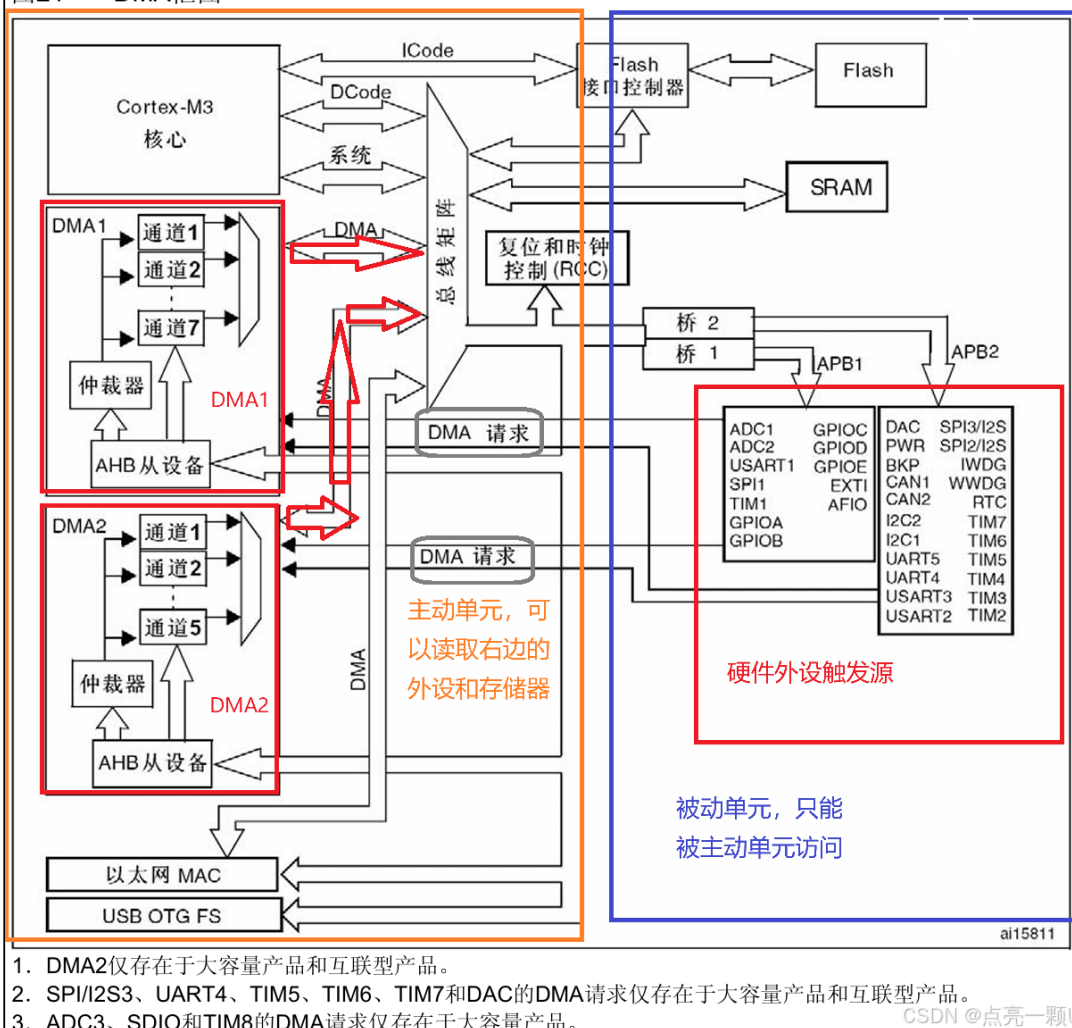


Figure 15

但是这张图不需要看懂，你只需要知道DMA可以不经过CPU直接传输数据就行。

(这些其实也不用看)

主要特征：

同一个DMA模块上，多个请求间的优先权可以通过软件编程设置（共有四级：很高、高、中等和低），优先权设置相等时由硬件决定（请求0优先于请求1，依此类推）；
 独立数据源和目标数据区的传输宽度（字节、半字、全字）；
 可编程的数据传输数目：最大为65535；
 对于大容量的STM32芯片有2个DMA控制器 两个DMA控制器，DMA1有7个通道，DMA2有5个通道。

0.0.1 空闲中断加+DMA方式

原理：为了避免上述两种情况给CPU带来的压力，利用DMA对数据进行处理。当寄存器接收到完整数据时候才会开启一次中断，然后进行DMA转运数据，DMA是独立于CPU外的直接存储器访问设备，可以减轻CPU压力。

0.0.1.1 发送数据

```
1 | HAL_StatusTypeDef HAL_UART_Transmit_DMA(UART_HandleTypeDef *huart, const uint8_t *pData,
    | uint16_t Size);
```

0.0.1.2 接收数据

```
1 | HAL_StatusTypeDef HAL_UARTEx_ReceiveToIdle_DMA(UART_HandleTypeDef *huart, uint8_t  
  | *pData, uint16_t Size)
```

Fence 14

首先依旧是cubemx的配置

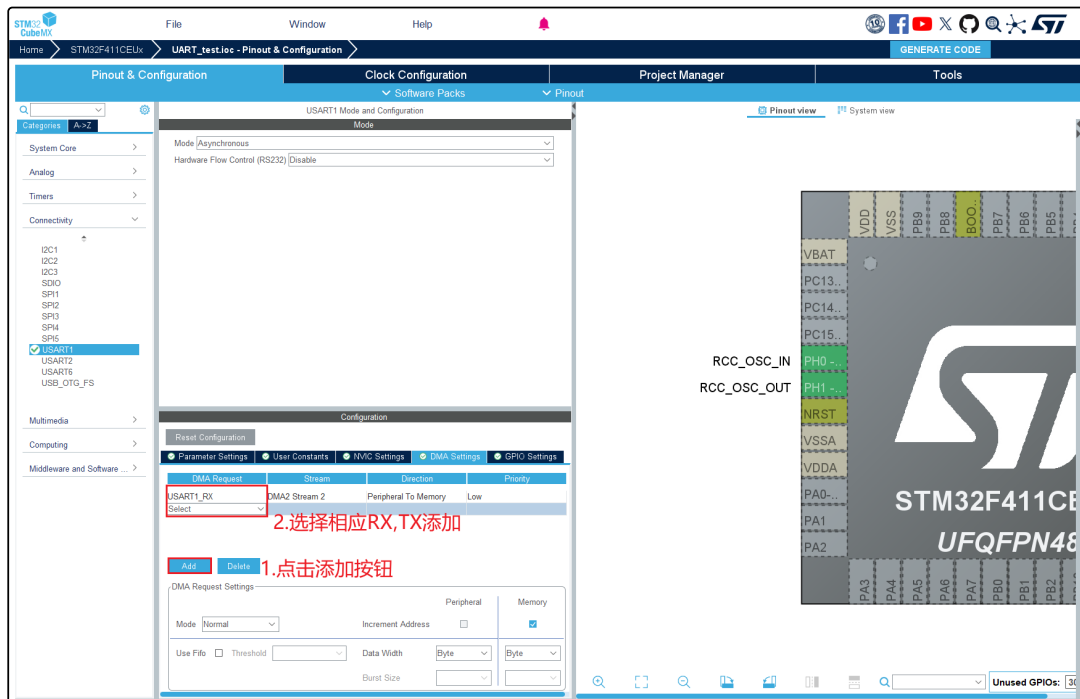


Figure 16

现在我们可以开始编写我们的DMA模式的串口代码了

改DMA就更简单了，只要改改后缀就行

首先定义接收数组和上面的定义一样

然后修改开启

```
1 | /* USER CODE BEGIN 2 */  
2 |  
3 |     HAL_UARTEx_ReceiveToIdle_DMA(&huart1, rxData, sizeof(rxData));  
4 |     // 关闭DMA过半中断  
5 |     __HAL_DMA_DISABLE_IT(&hdma_usart1_rx, DMA_IT_HT);  
6 |  
7 | /* USER CODE END 2 */
```

Fence 15

修改中断函数

```
1 | void HAL_UARTEx_RxEventCallback(UART_HandleTypeDef *huart, uint16_t Size)  
2 | {  
3 |     if(huart->Instance == USART1)  
4 |     {  
5 |         HAL_UART_Transmit(&huart1, rxData, sizeof(rxData), 100);  
6 |         HAL_UARTEx_ReceiveToIdle_DMA(&huart1, rxData, sizeof(rxData));  
7 |         __HAL_DMA_DISABLE_IT(&hdma_usart1_rx, DMA_IT_HT);  
8 |     }  
9 | }
```

Fence 16

这个时候有个地方会报错，只要把操作句柄拿过来就行了

```
1  /* USER CODE BEGIN PV */
2  extern DMA_HandleTypeDef hdma_usart1_rx;
3  /* USER CODE END PV */
```

Fence 17

最后看到的效果和上面是一样的。

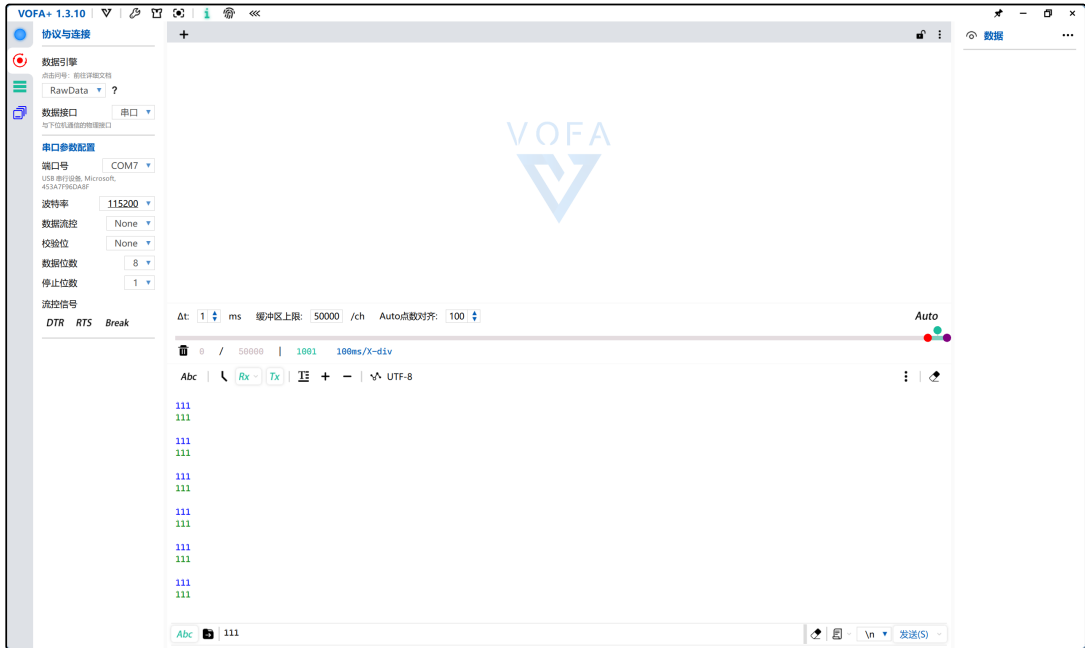


Figure 17

大概到这里就结束了，希望大家认真预习捏(～▽～)～

附上一张他自己生成的思维导图，没什么用，水点字数

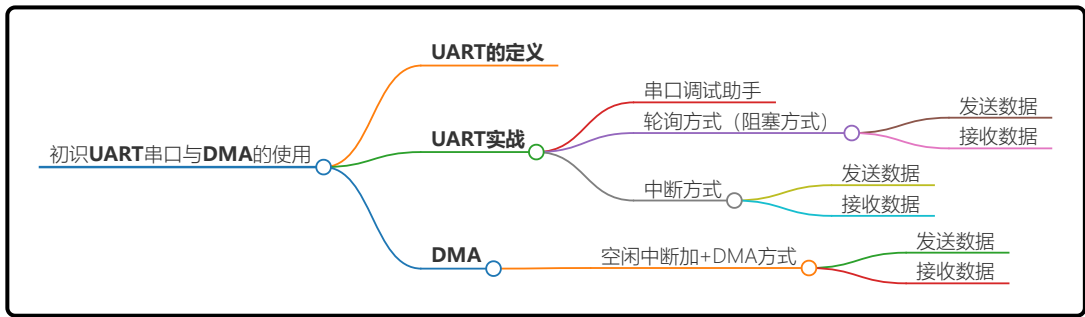


Figure 18

参考文献：

比较重要：

[UART通信协议及其工作原理（图文并茂+超详细）-CSDN博客](#)

[通信方式的分类（串行通信和并行通信）-CSDN博客](#)

[【STM32】DMA超详细解析·入门级教程_dma教程-CSDN博客](#)（这个里面对DMA讲的非常详细，一开始可能看不懂）

不是很重要（选看）：

[基于STM32HAL库的三种串口接收方式_stm32 hal 串口接收-CSDN博客](#)

[STM32 HAL库 UART串口发送数据实验_stm32 hal 串口发送-CSDN博客](#)

[【STM32】CUBEMX之串口：串口三种模式（轮询模式、中断模式、DMA模式）的配置与使用示例 + 串口重定向 + 使用HAL扩展函数实现不定长数据接收_cubemx配置串口-CSDN博客](#)

[【STM32HAL库】串口通信-UART_stm32 hal uart-CSDN博客](#)