AN4908
应用笔记

STM32 USART自动波特率检测

前言

正确的USART通信要求发送和接收波特率的匹配度足够高，否则可能发生通信错误。

当在两个设备之间建立通信链路时，自动波特率检测十分有用，因为从设备能够检测到主控制器的波特率并进行相应的自我调整。这需要使用一种自动机制来确定波特率。

某些STM32器件中内置的USART外设提供许多功能，包括硬件自动波特率检测。

本应用笔记旨在介绍STM32微控制器的自动波特率检测功能，并为没有在硬件中实现此功能的STM32器件提供替代软件方法。

本应用笔记适用于*表 1*中所列产品。

表1. 适用产品

类型	产品系列
微控制器	STM32F0系列、STM32F1系列、STM32F3系列、STM32F2系列、STM32F4系列、STM32F7系列、STM32L0系列、STM32L1系列、STM32L4系列。

目录

图片索引

表格索引

1 硬件自动波特率检测

1.1 特性概述

自动波特率检测（ABR）使接收设备能够接受来自各种以不同速率工作的发送设备的数据，无需事先建立数据速率。

在一些STM32产品中，USART能够使用专用硬件自动确定波特率。

*表 2*提供了支持自动波特率检测的STM32系列设备的概述。

表2. STM32系列的USART硬件自动波特率检测

产品	支持ABR
主流	
STM32F0	有
STM32F1	无
STM32F3	有
高性能	
STM32F2	无
STM32F4	无
STM32F7	有
超低功耗	
STM32L0	有
STM32L1	无
STM32L4	有

对于内置ABR的STM32系列设备而言，并非所有实例化USART接口均支持自动波特率检测。*表 3*详细说明了这一限制。

表3. STM32 USART接口上的硬件自动波特率检测(1)(2)(3)

端口	STM32 F0										STM32 F3							STM32 F7		STM32L0			STM32L4
	STM32F030x4、STM32F030x6	STM32F030x8	STM32F070x6	STM32F070xB	STM32F030xC	STM32F03x	STM32F05x	STM32F04x	STM32F04x STM32F07x	STM32F09x	STM32F37xx	STM32F302xB/C STM32F302xD/E	STM32F302x6/8	STM32F303xB/C STM32F358xC STM32F303xD/E STM32F398xE	STM32F303x6/8 STM32F328x8	STM32F334xx	STM32F301x6/8 STM32F318x8	STM32F745xx STM32F746xx	STM32F756xx	STM32L0x1	STM32L0x2	STM32L0x3	STM32L4x1 / STM32L4x2 / STM32L4x3 / STM32L4x5 / STM32L4x6
USART 1	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
USART 2	0	-	-	X	X	0	-	-	X	X	X	X	-	X	-	-	X	X	X	X	X	X	X
USART 3	0	0	0	-	-	0	0	0	-	X	X	X	-	X	-	-	X	X	X	0	0	0	X
USART 4	0	0	0	-	-	0	0	0	-	-	-	-	0	-	0	0	0	X	X	-	-	-	X
USART 5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	-	-	0	-	0	0	0	X	X	-	-	-	X
USART 6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	-	0	0	0	0	0	0	X	X	0	0	0	0
USART 7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	-	0	0	0	0	0	0	X	X	0	0	0	0
USART 8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	-	0	0	0	0	0	0	X	X	0	0	0	0

1. X：支持
2. -：不支持
3. 0：USART实例不可用

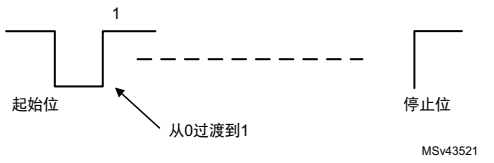
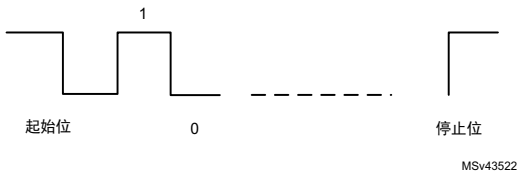
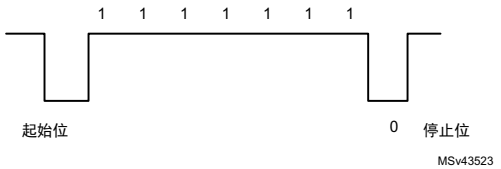
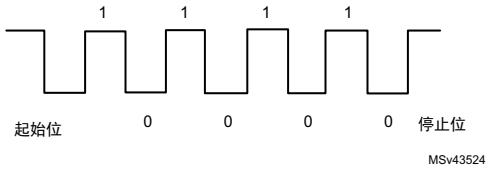
1.2 自动波特率检测模式

ABR是指接收设备通过检查第一个字符（通常是预先选择的标志字符）确定传入数据速率的过程。

STM32产品上的自动波特率检测功能内置的各种模式基于不同字符模式：

- 以“1”位为开头的任意字符：**模式0**
- 以10xx模式开头的任何字符：**模式1**
- 0x7F：**模式2**
- 0x55：**模式3**

表4. 自动波特率检测模式

ABR模式	说明	波形
0	接收的字符为以“1”位为开头的字符。这种情况下，USART会测量起始位的持续时间（下降沿到上升沿）。	
1	以10xx模式开头的任何字符。这种情况下，USART会测量起始位和第一个数据位的持续时间。从下降沿到下降沿测得的持续时间，**可在信号斜率较小时确保较高的精度**。	
2	0x7F字符帧。 在此情况下，将首先在起始位结束处更新波特率，然后是在位6结束时更新波特率。	
3	0x55字符帧。 在此情况下，将首先在开始位结束处更新波特率，然后是位0的结束处，最后是在位6的结束处。同时，对 RX 线路的每个中间转换执行其它检查。	

在激活自动波特率检测之前，必须通过USARTx_CR2寄存器中的ABRMOD[1:0]字段选择一种ABR模式。在所有ABR模式下，都会在同步数据接收期间多次检测波特率，并将每一次的检测值与上一次的检测值进行比较。

注： *在7位数据长度模式下，不支持0x7F和0x55帧检测ABR模式。*

1.3 ABR误差计算

由USART时钟源（fCK）决定通信速率范围（尤其是最大通信速率）。接收器采用不同的用户可配置过采样技术，可区分有效输入数据和噪声，从而用于恢复数据。这可以在最大通信速率与抗噪声/时钟不准确性之间实现平衡。

可通过编程**USARTx_CR1**寄存器中的**OVER8**位来选择过采样方法，可以是波特率时钟的16倍或8倍。

USART时钟源频率必须与预期通信速率兼容：

- **16倍过采样**时，波特率介于fCK/65535与fCK/16之间。
- **8倍过采样**时，波特率介于fCK/65535与fCK/8之间。

波特率误差取决于USART时钟源、过采样方法和ABR模式。

$$\text{误差 (\%)} = \left|\frac{\text{预期波特率} - \text{实际波特率}}{\text{预期波特率}}\right| \cdot 100$$

其中：

- *预期波特率*取决于发送设备
- *实际波特率*是USART接收器使用自动波特率检测操作确定的波特率。

2 软件自动波特率检测

如果不支持硬件自动波特率检测，可采用本节描述的软件方法。

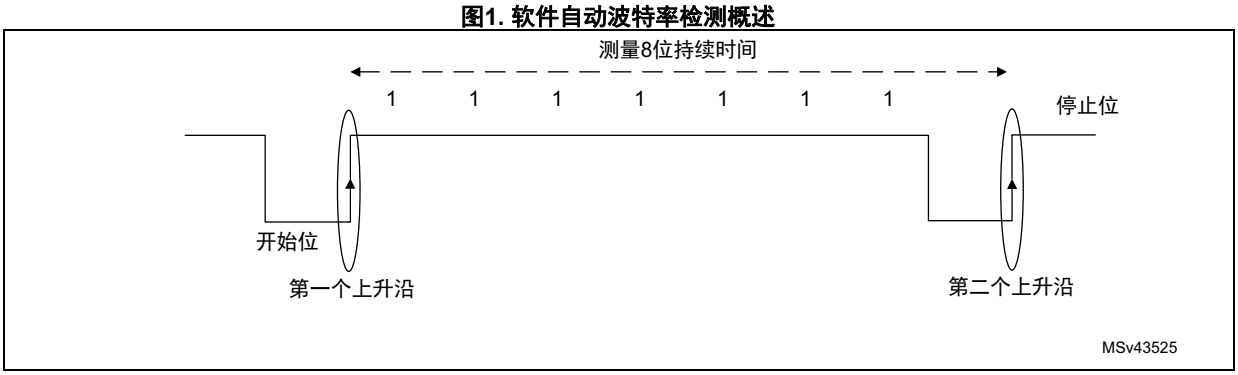
软件方法的理念是发送**0x7F**数据帧到**USARTx_RX**引脚。这将连接到EXTI线路，该线路被配置为在每个上升沿生成中断。

使用Systick定时器测量两个上升沿之间间隔的持续时间。此持续时间对应于8位的持续时间，因此

- 位时间 = 计算的持续时间 / 8
- 波特率 = 1/位时间

然后，根据计算的波特率值进行USARTx_BRR寄存器编程。

图1. 软件自动波特率检测概述



3 软件和硬件方法的设置

此设置示例使用的是内置硬件自动波特率检测功能的STM32F303xD/E。

PC应用“超级终端”用于向/从STM32F303发送/接收数据帧。因此，测试的是介于600 bits/s至115200 bits/s之间的标准波特率。使用另一个STM32F3器件作为发送器测试可以达到的最高波特率值（9 Mbits/s）。

3.1 USART1配置示例

在两个示例中，STM32 USART1的配置如下：

```
/*##-1- Configure the UART peripheral ######################################*/
  /* Put the USART peripheral in the Asynchronous mode (UART Mode) */
  /* UART configured as follows:
      - Word Length = 8 Bits
      - Stop Bit    = One Stop bit
      - Parity      = NONE  parity
      - BaudRate    = 115200 baud  It can be any other value as the USARTx_BRR register will be
reprogrammed
      - Hardware flow control disabled (RTS and CTS signals)
      - The oversampling mode is 8 or 16 (Both are tested)
*/
  UartHandle.Instance          = USARTx;
  UartHandle.Init.BaudRate     = 115200;
  UartHandle.Init.WordLength   = UART_WORDLENGTH_8B;
  UartHandle.Init.StopBits     = UART_STOPBITS_1;
  UartHandle.Init.Parity       = UART_PARITY_NONE;
  UartHandle.Init.HwFlowCtl    = UART_HWCONTROL_NONE;
  UartHandle.Init.Mode         = UART_MODE_TX_RX;
  UartHandle.Init.OverSampling = UART_OVERSAMPLING_16;
```

注： *USART1时钟源是使用HSE PLL时钟源的72 MHz系统时钟。（某些测试使用HSI时钟作为USART1时钟源来执行。这是为了检查HSI不准确性对结果的影响。）*

3.2 硬件自动波特率检测

USART1被配置为自动检测波特率。用户必须在USART1初始化函数中选择ABR模式，如下所示：

```
/*##-2- Configure the AutoBaudRate method */
UartHandle.AdvancedInit.AdvFeatureInit =UART_ADVFEATURE_AUTOBAUDRATE_INIT;
UartHandle.AdvancedInit.AutoBaudRateEnable =
UART_ADVFEATURE_AUTOBAUDRATE_ENABLE;

/*Uncomment your appropriate mode */

//UartHandle.AdvancedInit.AutoBaudRateMode =
UART_ADVFEATURE_AUTOBAUDRATE_ONSTARTBIT;
//UartHandle.AdvancedInit.AutoBaudRateMode =
UART_ADVFEATURE_AUTOBAUDRATE_ONFALLINGEDGE;
//UartHandle.AdvancedInit.AutoBaudRateMode =
UART_ADVFEATURE_AUTOBAUDRATE_ON0X7FFRAME;
//UartHandle.AdvancedInit.AutoBaudRateMode =
UART_ADVFEATURE_AUTOBAUDRATE_ON0X55FRAME;

if (HAL_UART_Init(&UartHandle) != HAL_OK)
{
/* Initialization Error */
 Error_Handler();
}

/* Wait until Receive enable acknowledge flag is set */
while(__HAL_UART_GET_FLAG(&UartHandle,UART_FLAG_REACK) == RESET)
{}

/* Wait until Transmit enable acknowledge flag is set */
while(__HAL_UART_GET_FLAG(&UartHandle,UART_FLAG_TEACK) == RESET)
{}

/* Loop until the end of Autobaudrate phase */
while(__HAL_UART_GET_FLAG(&UartHandle,UART_FLAG_ABRF) == RESET)
{}
```

在整个初始化过程完成后，USART等待从超级终端接收数据，然后开始自动波特率检测阶段。通过ABRF标志监测此阶段的结束。

- 如果自动波特率检测操作不成功，则ABRE标志置位
- 如果自动波特率检测操作成功完成，则向超级终端发送确认数据。

```
/* If AutoBaudBate error occurred */

if (__HAL_UART_GET_FLAG(&UartHandle, UART_FLAG_ABRE)!= RESET)
{
  Error_Handler();
}
else
{
   /* Wait until RXNE flag is set */
 while(__HL_UART_GET_FLAG(&UartHandle,UART_FLAG_RXNE) == RESET)
 {}
   /* Send acknowledgement message*/
 if (HAL_UART_Transmit_DMA(&UartHandle, (uint8_t *)aTxBuffer, TXBUFFERSIZE) != HAL_OK)
 {
   /* Transfer error in transmission process */
   Error_Handler();
 }
 while (HAL_UART_GetState(&UartHandle) != HAL_UART_STATE_READY)
 {
 }
}
```

3.3 软件自动波特率检测

*表 5*详细说明了软件方法。

表5. 软件自动波特率检测详情

动作	代码
HAL库初始化。 暂停Tick递增，以防止被Systick中断唤醒。	HAL_Init(); HAL_SuspendTick();
将系统时钟配置为72 MHz。 可最后在主程序中执行SystemCoreClockUpdate函数来验证CPU工作频率。	System Clock source = PLL (HSE) PLLMUL = RCC_PLL_MUL9 (9) Flash Latency(WS) = 2
配置UART外设。	请参见*第 3.1节：USART1配置示例*。

配置USARTx RX引脚以在每个上升沿生成中断。	static void EXTILine1_Config(void)
	{
	GPIO_InitTypeDef GPIO_InitStructure;
	/* Enable GPIOE clock */
	__GPIOE_CLK_ENABLE();
	/* Configure PE1 pin as input floating */
	GPIO_InitStructure.Mode = GPIO_MODE_IT_RISING;
	GPIO_InitStructure.Pull = GPIO_NOPULL;
	GPIO_InitStructure.Pin = GPIO_PIN_1;
	HAL_GPIO_Init(GPIOE, &GPIO_InitStructure);
	/* Enable and set EXTI Line0 Interrupt to the lowest priority */
	HAL_NVIC_SetPriority(EXTI1_IRQn, 2, 2);
	HAL_NVIC_EnableIRQ(EXTI1_IRQn);
	}

表5. 软件自动波特率检测详情（续）

动作	代码

在Rx引脚上接收到0x7F，等待中断结束。
启动*第 2节：软件自动波特率检测*中描述的自动波特率检测序列。
	/*Wait until the end of interrupt */
	while (**end_interrupt_flag** != 1) {
	BSP_LED_On(LED2);
	}
	/* Autobaudrate sequence : Update BRR register */
	Autobaudrate();
	/* Send acknowledgement */
	if (HAL_UART_Transmit_DMA(&UartHandle, (uint8_t *)aTxBuffer, TXBUFFERSIZE) != HAL_OK)
	{
	/* Transfer error in transmission process */
	Error_Handler();
	}
	while (HAL_UART_GetState(&UartHandle) != HAL_UART_STATE_READY)
	{}
	/* 无限循环 */
	while (1)
	{}

自动波特率检测函数	static void Autobaudrate(void)
	{
	float tmp=0, elapsed;
	uint32_t USART1_clk=0;
	uint32_t start_time_val=0;
	uint32_t BRR=0;
	tmp += 0xFFFFFF - stop_time_val;
	tmp -= start_time_val;
	elapsed =(tmp/(SystemCoreClock/1000000))/8;
	USART1_clk=SystemCoreClock;
	if((USART1->CR1 & 0x8000)== 0x8000)
	{
	/*In case of oversampling by 8*/
	BRR =(elapsed*((2*USART1_clk)/1000000))+1;
	USART1->BRR= BRR;
	}
	else
	{
	/*In case of oversampling by 16*/
	BRR =(elapsed* ((USART1_clk)/1000000))+1;
	USART1->BRR=BRR;
	}
	}

表5. 软件自动波特率检测详情（续）

动作	代码

外部线路1中断请求：
第一个上升沿：temp=0启动systick定时器
第二个上升沿：
– 禁用SysTick计数器
– 获取编码时间
– SysTick计数器清零
	void EXTI1_IRQHandler()
	{
	HAL_GPIO_EXTI_IRQHandler(GPIO_PIN_1);
	if(temp==0)
	{
	HAL_SYSTICK_Config(0xFFFFFF);
	temp++;
	}
	else
	{
	SysTick->CTRL &= SysTick_Counter_Disable;
	/* Stop the Timer and get the encoding time */
	GETMYTIME(&stop_time_val);
	/* Clear the SysTick Counter */
	SysTick->VAL = SysTick_Counter_Clear;
	/* Clear the temp flag*/
	temp=0;
	/*end of interrupt*/
	interrupt_flag=1;
	}
	}

所需项目定义	#define SysTick_Counter_Disable ((uint32_t)0xFFFFFFFE) #define SysTick_Counter_Enable ((uint32_t)0x00000001) #define SysTick_Counter_Clear ((uint32_t)0x00000000) #define GETMYTIME(_t) (*_t=SysTick->VAL)

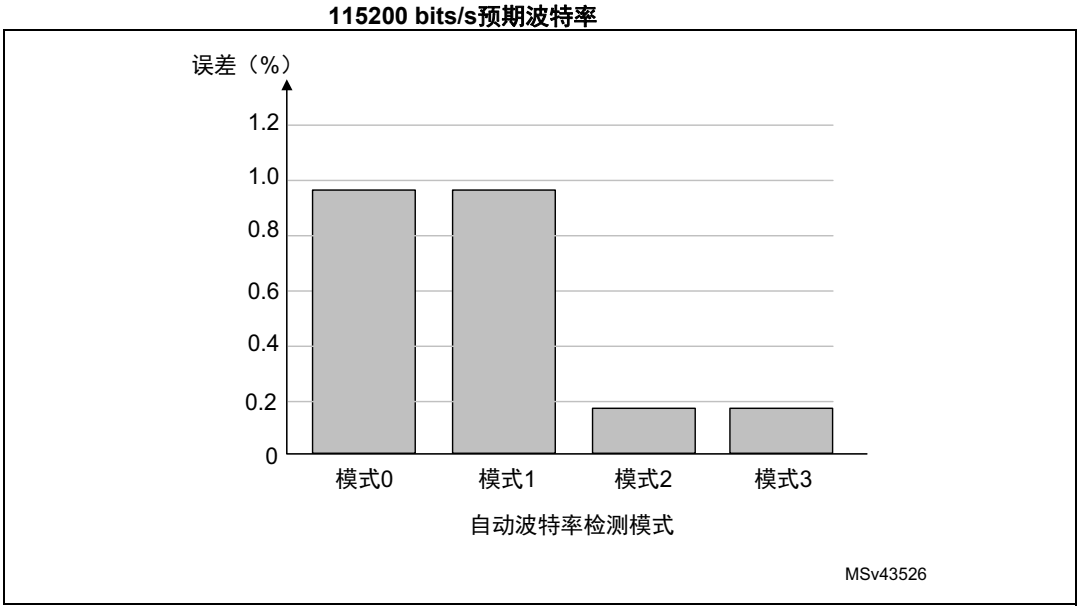
3.4 结果分析

3.4.1 误差计算

*图 2*显示ABR模式2和3的精确度高于模式0和1；它们的波特率误差值更低。

不过，由于预期波特率与实际波特率之间的误差小于1%，因此所有模式的结果均正常。

图2. fCK = 72 MHz时ABR的误差计算，115200 bits/s预期波特率



3.4.2 软件和硬件方法的比较

*图 3*显示在通常情况下，当由72 MHz系统时钟为USART提供时钟（HSE作为PLL时钟源）时，结果优于USART时钟源使用HSI时钟。这要归因于HSI的相对不准确性。

图3. ABR误差比较（fCK = HSI时钟，使用模式2进行硬件检测）

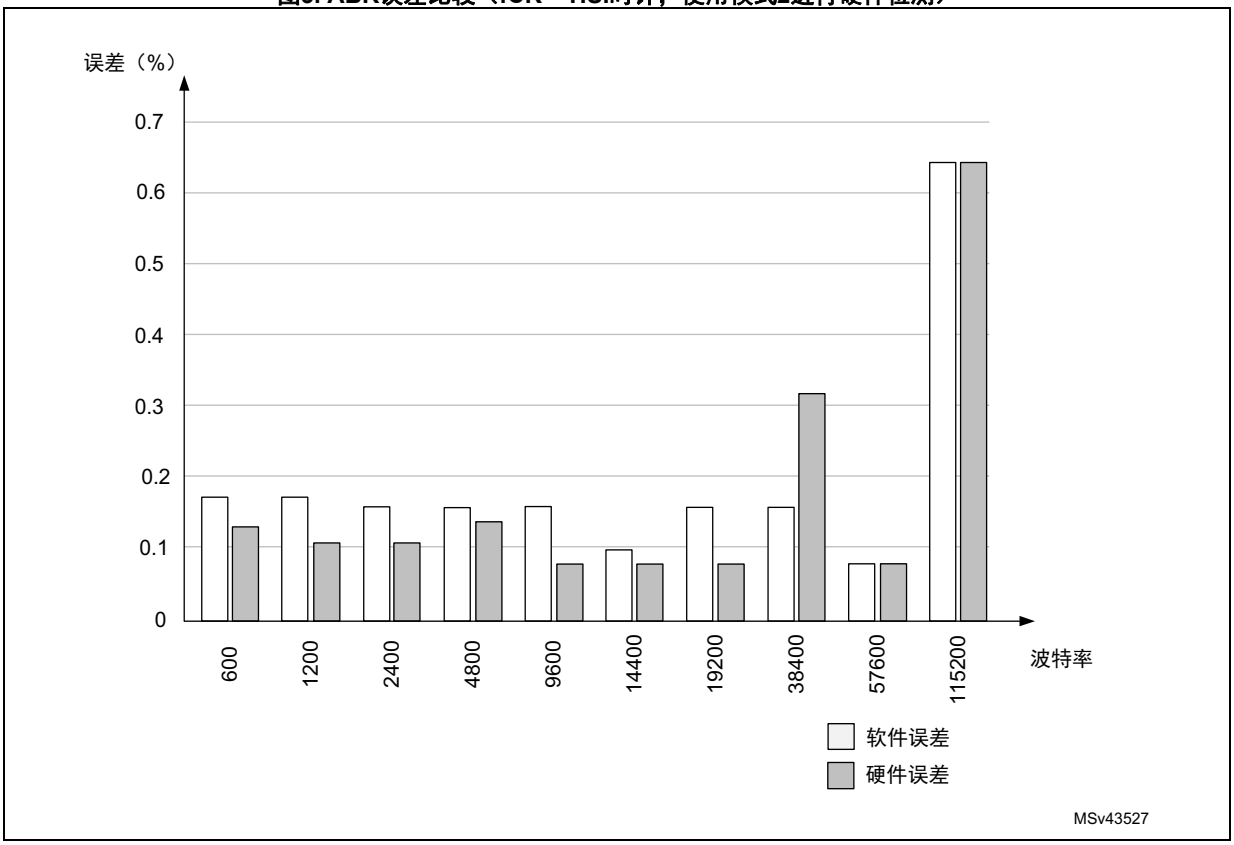


*图 4*显示在大多数情况下，硬件方法提供的结果优于软件方法。不过，在某些情况下，软件方法能够提供相比于使用硬件方法时更好的结果。

图4. ABR误差比较（fCK = 72MHz，使用模式2进行硬件检测）

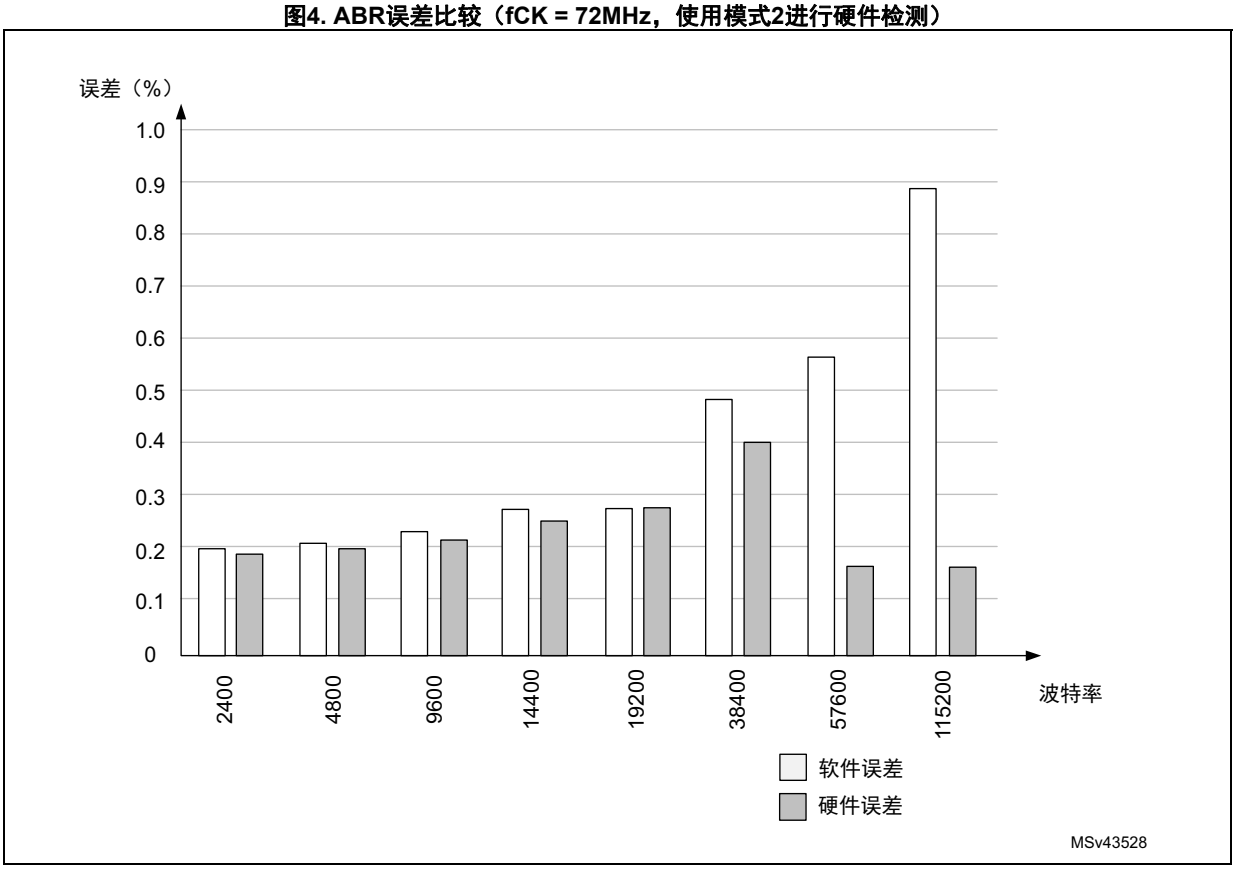
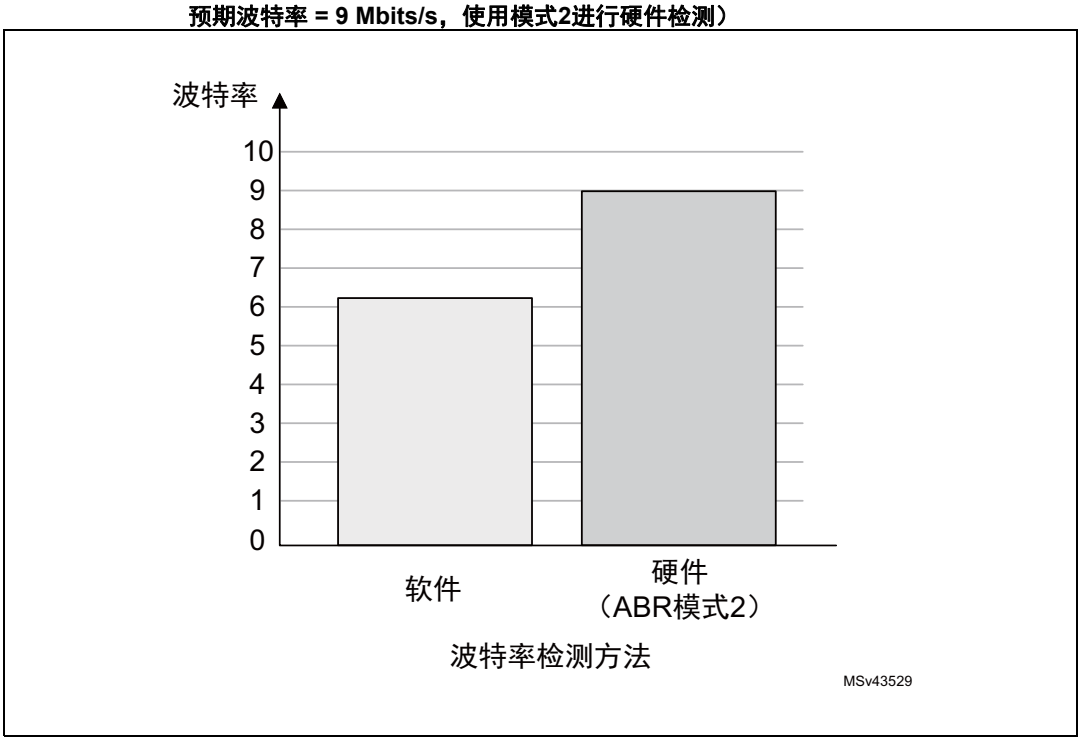


*图 5*显示：

- 使用硬件方法时，达到最大波特率9 Mbits/s时误差为0%。
- 使用软件方法时，达到最大波特率时误差为约30%，这要归因于执行中断处理程序所花费的CPU周期。

图5. 波特率比较（fCK = 72MHz，预期波特率 = 9 Mbits/s，使用模式2进行硬件检测）



4 结论

此应用笔记描述了某些STM32器件内置的硬件自动波特率检测功能。它还提供了在软件中实现此功能的技术，作为STM32器件没有在硬件中实现此功能的解决方案。

尽管示例中的自动波特率检测均应用在示例的开头部分，但是可以进行扩展并在每次发送和接收设备检测到通信错误时使用。当主机使用不同波特率进行通信时，这一特性可实现应用的稳健性。

5 版本历史

表6. 文档版本历史

日期	版本	变更
2016年11月15日	1	初始版本

表7. 中文文档版本历史

日期	版本	变更
2017年11月19日	1	中文初始版本