[错误检测预处理 2](#_Toc513199099)

[错误检测机制 2](#_Toc513199100)

[CRC校验 3](#_Toc513199101)

[局部错误 4](#_Toc513199102)

[错误计数器 5](#_Toc513199103)

[无法检测到的错误 7](#_Toc513199104)

[错误检测与处理 8](#_Toc513199105)

# 错误检测预处理

CAN协议最突出的特点就是错误的检测、限制和处理。

CAN协议不同于其他协议，它没有定义用于识别错误类型的握手方法。

CAN协议中规定了5中错误识别机制，这些机制可以确保识别出所有出现的总线错误。

除此以外，系统集成商还采取了一些措施，以便能够即使地发现“关闭的”CAN节点。下面将以CANopen系统为例，对这些应用于较高协议层错误处理的方法进行解释。

在工业应用中使用标准化CAN网络基本上符合OSI参考网络模型的标准。在数据链路层上，CAN协议可以保证网络范围内的数据的一直型。除此以外，较高协议层中还有一些其他功能的实现，比如标准化设备错误提示和设备“丢失”的提示

为实现网络范围内的数据的一致性，CAN协议须将局部检测到的错误进行全局化通知，是本网络中的所有设备能够废纸由当前发送设备发送的出现错误信息帧消息。

为了有效区别偶然性错误和持久性错误，CAN芯片还内置一些错误计数器，以便在极端情况下将设备自身与总线断开。识别、处理和限制错误均对用户透明，也就是说，使用者可以不用关心这些功能。

## 错误检测机制

|  |  |
| --- | --- |
| 当CAN设备检测到总线错误时，它会拒绝之前已接收到的位序列，然后发送一个由6个连续且有逻辑值的位序列组成的错误标志，即“错误帧”。  CAN芯片可以使用下一下5中机制来检测错误 | |
| 位错误 | 每个发送节点在发送位的同时也对总线电平进行监测，如果所发送的值与监听到的值不同，就会中断报文的传输，然后产生“位错误”的标志。  在仲裁场阶段，若发送显性电平位而接收隐性电平位，发送节点不视其为为错误；  在应答间隙，显性电平位对隐性电平位的覆盖也不认为是位错误 |
| 填充规则错误 | 如果在应答间隔符之前节点检测到6个电平值相同的连续位，将产生“填充规则错误”，同时丢弃刚才传输的报文。在正常工作情况下，当发送器检测到它已经发送5个逻辑值相同的连续位时，他将根据填充的规则，在第6位上插入一个取反值。 |
| CRC错误 | 如果收到的CRC校验值与CAN芯片中算出的校验值不一致，CAN控制器在应答阶段发送一个错误标志，并将刚才收到的报文作废。 |
| 应答错误 | 如果发送器以隐性电平发送的应答间隙位没有被任何一个接收器的显性电平覆盖，发送设备就会中断传输，将以警方的传输报文作废，并在下各位中发送一个错误标志。  在应答间隙的时间段内，所有接收的CAN设备，无论是否为预定的接收者，都必须对接收的帧信息作出应答 |
| 格式错误 | 如果CRC界定符、应答界定符、或EOF场 的前6位 中发现一个显性电平位，则丢弃已收到的报文，并在下一个为中发送一个错误标志。  如果EOF场的第7位呈显性电平，则发送器和接收器将会作出不同的响应。 |
| 前4种检测机制几乎可以发现数据帧或者远程中出现的所有总线错误。  由于EOF长达7位，所以在报文长度范围内，CAN节点总是可以发出检测出总线错误的信号。 | |

## CRC校验

CRC校验所使用的CRC多项式最多可以检测出5个离散错误，和发现长度在15为以下偶然出现的突发错误。

CRC校验对SOF位、仲裁场、控制场、数据场（如果有的话） 的位序列进行计算，但不考虑填充位。

CAN协议中规定的15位校验序列源自于BCH代码，它是一种特别适用于127位以下消息长度的循环代码。CAN协议中所应用的15位多项式如下：

X15+X14+X10+X7+X4+X3+1

为了保证报文的正确传输，CAN的报文包含了一段15位的CRC校验码，一旦接收节点算出的CRC码跟接收到的CRC码不同，则它会向发送节点反馈出错信息，利用错误帧请求它重新发送。CRC部分的计算一般由CAN控制器硬件完成，出错时的处理则由软件控制最大重发数。

在CRC校验码之后，有一个CRC界定符，它为隐性位，主要作用是把CRC校验码与后面的ACK段间隔起来。

CRC 场包括CRC 序列（CRC SEQUENCE），其后是CRC 界定符（CRC DELIMITER）

CRC 序列：由循环冗余码求得的帧检查序列最适用于位数低于127 位〈BCH 码〉的帧。为进行CRC计算，被除的多项式系数由无填充位流给定，组成这些位流的成分是：帧起始、仲裁场、控制场、数据场（假如有），而15 个最低位的系数是0。将此多项式被下面的多项式发生器除（其系数以2 为模）：

X 15 + X 14 + X 10 + X 8 + X 7 + X 4 + X 3 + 1

这个多项式除法的余数就是发送到总线上的CRC 序列（CRC SEQUENCE）。

为了实现这个功能，可以使用15 位的位移寄存器CRC\_RG（14:0）。如果用NXTBIT 标记指示位流的下一位，它由从帧的起始到数据场末尾都由无填充的位序列给定。

CRC 序列（CRC SEQUENCE）的计算如下：

CRC\_RG = 0; // 初始化移位寄存器

REPEAT;

CRCNXT = NXTBIT EXOR CRC\_RG（14）;

CRC\_RG（14:1） = CRC\_RG（13:0）; // 寄存器左移1 位

CRC\_RG（0） = 0;

IF CRCNXT THEN

CRC\_RG（14:0） = CRC\_RG（14:0） EXOR （4599hex）;

ENDIF

UNTIL （CRC 序列开始或存在一个错误条件）

在传送/接收数据场的最后一位以后，CRC\_RG 包含有CRC 序列。CRC 序列之后是CRC 界定符，

CRC 界定符:包含一个单独的“隐性”位 。

## 局部错误

|  |  |
| --- | --- |
| 上述的错误检测机制可以发现几乎所有的错误，但既不错误依然可能存在，下列情况就会出现局部错误 | |
| 由于设置了不同的采样点，当线路遇到干扰，各个设备会在不同的时刻对某一个位的值进行扫描时 |  |
| 由于元器件误差或者温度差异，导致各个设备的信号开关阈值存在误差时 |  |
| 由于信号的传播时间延迟，使得故障错误仅对网络中的一个设备或者一组设备产生影响时 |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |

为实现网络范围内的数据一致性，CAN协议须将拒不检测而到的错误进行全局化通知。

为此，CAN协议中规定了未填充规则。错误标志由6个具有相同逻辑的连续位序列组成，所以违反了CAN协议的位填充规则，没有识别出局部错误的所有CAN节点就会出现填充规则错误，导致这些设备也发送错误标志。

这时的第二个错误标志可以与第一个错误标志重叠，因此，总线上的错误标志可以具有1~12位的长度。

当某一个设备发送了6位长度的错误标志之后，就会进入接收模式，也就是发送隐性电平位。

当CAN设备接收到隐性位时，就为继续发送其余的7个隐性位。

在错误标志的重叠区域之后，还有8位的错误界定符。

在开始传输下一个CAN报文（数据帧或远程帧） 之前，必须插入一个3位长的真贱空间ITM。

因此，一个全局错误的最短恢复时间为17个位时间，局部错误则为18个位时间；罕见情况下，局部错误的最长错误恢复时间为23个位时间。

## 错误计数器

为了避免出错设备持久性得干扰网络中其他设备的正常通信，所有CAN协议控制器都内置两个错误计数器：

一个是用于记录未正确接收消息的接受错误计数器REC

一个是用于记录未正确发送消息的发送错误计数器TEC

当出现错误时，对应错误计数器的数值递增；成功发送或接收一个消息后，错误计数器的数值递减

错误计数器的值大于127小于255，设备进入被动错误状态；

错误计数器的值小于127，设备进入主动错误状态；

错误计数器的值大于255，设备进入总线脱离状态，此时设备不允许对总线有任何影响，在逻辑上与网络断开。

REC与TEC按照以下规则进行递增或递减

|  |
| --- |
| 如果接收器检测到一个错误，则接收错误计数器REC加1。  但若发送主动错误标志或过载标志期间所检测到的错误为为错误，则REC计数器不加1. |
| 如果接收器在错误标志发送之后发现一个显性位（第二个错误标志），则REC计数加8 |
| 如果发送器检测到一个错误，则发送错误计数器TEC加8。下面是例外情况：  如果处于错误被动状态的发送器在啊应答间隙中没有检测到显性位，并在发送被动错误标志的时候也没有发现显性位，TEC保持不变；  如果发送器因为在仲裁时产生填充错误（填充位作为隐性位发送但接收为显性）而发送错误标志，TEC也保持不变。 |
| 如果处于错误主动状态的发送器在发送主动错误标志或过载标志时检测到一个位错误，TEC加8 |
| 如果处于错误主动状态的接收器在发送主动错误标志或过载标志时检测到一个位错误，REC加8 |
| 如果发送器和接收器在发送错误标志或过载标志后，检测到第8个显性位，或每次检测到8个连续的显性位，则TEC和REC计数均加8 |
| 如果发送器成功发送了一个消息，则TEC计数减1，值为0例外 |
| 如果发送器成功接收了一个消息，则REC计数减1，值为0例外 |

上述规则也适用于下面的情况：

当一个接收器检测一个局部错误时，网络中的其他设备将会使用第二个错误标志对违反填充位规则做出应答。所有设备均将其REC计数加1，发送第一个错误标志的接收器将其REC计数增加8（即总数共计加9）

错误计数器的递减速度比递增速度要慢。因此对于总线错误计数器的错误环回可以使CAN节点避免短时间干扰带来的总线脱离问题。

原则上来说，运行过程中发生的错误帧市政应当视为严重错误。这种错误涉及的多是物理层的问题，通常是因总先到先以及终端电阻的设计缺陷而引起的问题。

如果一个设备在CAN网络连接后就已经开始发送信息，而其他设备又没有准备好接收消息，则不会获得主动应答，并且TEC计数加8.为了避免这个无应答的死去时间，可将设备置于错误被动状态，但又不至于到达总线脱离状态，因为TEC在出现应答错误时不会继续递增。错误被动状态与错误主动状态的不同之处在于，节点处于被动错误状态时，错误标志不会以显性电平发送，而是以隐性电平发送。处于错误被动状态的节点不会（只作为接收器）妨碍网络中其他CAN节点的通信。

此外，发送被动错误帧的节点必须继续等待8个位定时以后才能发送下一帧。这样，网络中的其他设备通过总线发送较低优先级的帧消息的时候，就不会受到处于错误被动状态的节点影响。

在这种情况下，如果没有其他CAN设备想要发送帧消息，而且处于错误被动状态的节点又获得了下一轮的总线仲裁，则局部错误的最短回复时间可以达到31个位定时。

如果处于错误被动状态的节点仍然不断地检测出总线错误，那么只要任务错误计数器度数超过255，设备就会自动断开，之后不再参与网络通信，进入总线脱离状态。

断开的设备可以通过软件处理或者硬件复位的方式重新与CAN网路实现连接。若采用软件处理方式，设备必须现在总线上检测到128\*11 个连续的隐性电平位，然后才可以重新进入错误主动状态，传输等待队列中的帧消息（主要是一些优先级较低的传输请求）。因此，在进入总线脱离状态后，建议设备自动执行硬件复位，实现CAN网络的重新连接。

假如CAN设备在到达总线脱离状态时被自动切断，而该设备又是网络中不可缺少的设备，那么很可能会导致一些其他问题。

因此，应用层（例如CANopen协议）通常要设置一种用于记录设备“缺失”的监控机制，同时要给出相应的解决方案（例如是所有设备进入安全状态）。

当任意错误计数器数值达到96时，CAN模块会向下游的微控制器发送一个中断，这样就可以在设备进入错误被动状态之前发出警告。当设备进入错误被动模式或返回错误主动模式时，另外一些CAN实现架构也会产生对应的中断申请，这样也可能会对下游微控制器造成比较严重的中断负载

错误帧和过载帧中也可能出现错误，因此使用者也必须能检测到这些错误，并及时通知网络中的其他设备。如果主动错误帧或过载帧中检测到一个位错误，设备将发送另一个错误帧，错误计数器的计数值增加。如果设备检测到错误帧或过载帧分解符的最后一位为显性电平，设备将发送过载帧。

尽管错误帧与过载帧的格式相同，但响应方式有所不同。

任何一个设备，无论是出于错误主动状态还是错误被动状态，都只允许发送一个过载标志，或对收到的过载标志做出反应。如果在某一过载帧中检测出错误，则只有处于错误主动状态的设备允许发送一个错误标志。

## 无法检测到的错误

CAN协议的错误检测方法也存在局限性。

CAN网络中可以检测到几乎所有的全局错误和局部错误。除此以外，CAN协议所采用的CRC序列还可以保证汉明距离（Hamming Distance）为6，“残留错误可能”的几率小于2-15

但是由于允许填充位，存在检测不出5个以下位错误的潜在可能。

例如：

如果将报文开始时的填充位“翻转”，并且又因为另一个位错误而导致接收器将数据位判读成填充位，那么CRC校验就可能检测不出这种错误。这种情况极为罕见，但也包括在“残留错误可能”中。

如果正确地选择标识符也可以避免这些无法发现的2位错误。

可以用“残留错误概率”来表述CAN报文的可靠性，这比汉明距离重要得多。

残留错误概率= 报文错误率 \* 4.7×10-11

对于普通的使用者而言，以下经验值足以了解某一个无法被检测出的总线错误的出现概率：

假设在位速率等于500kbit/s 的CAN网络中每隔0.7s就会出现一个位错误，若按一年365天，一天运行8小时计算，则在奖金1000年以内也不会检测出一个残留的错误。

尽管CAN协议保证了非常高的错误检出率，但在CAN网络中仍然会出现重复传输消息的情况。例如：

当发送器出现EOF的最后一位为显性电平时，它会认为这是某一个接收器发送的错误标志的开始，从而丢弃本次发送结果。但如果这是一个局部错误，则某些或所有接收器都会将该报文视为已经处理的报文。一旦发送器再次重新发送消息，网络中的某些接收器就会受到2次完成的消息。

因此，使用者应当禁止在网络中传输增量、Delta值、切换消息。

如果需要发送大于8字节的消息，必须采取合适的分段方法，以让接受来能够识别出重复接收的消息。将检测到的局部错误进行全局化通知的时候，接收器需要有一个位定时来通知发送器，因此，在EOF中添加位的方法也无法解决这一问题。

如果在EOF字段中识别出一个局部错误，处于错误被动状态的CAN发送节点也可能会出现重复传输的问题。

网络中的CAN接收器不会将当前总线上的隐性电平的被动错误标志识别为错误标志，这是由于EOF字段不允许使用填充位。因此，发送器仍然会重复发送消息，是接受其收到2次重复的消息。

## 错误检测与处理

|  |  |
| --- | --- |
| 错误检测  有以下5 种不同的错误类型（这5 种错误不会相互排斥） | |
| 位错误 | 站单元在发送位的同时也对总线进行监视。如果所发送的位值与所监视的位值不相符合，则在此位时  间里检测到一个位错误（BIT ERROR）。但是在仲裁场（ARBITRATION FIELD）的填充位流期间或ACK  间隙（ACK SLOT）发送一“隐性”位的情况是例外的—— 此时，当监视到一“显性”位时，不会发出位  错误（BIT ERROR）。当发送器发送一个被动错误标志但检测到“显性”位时，也不视为位错误。 |
| 填充错误 | 如果在使用位填充法进行编码的信息中，出现了第6 个连续相同的位电平时，将检测到一个填充错误。 |
| CRC 错误 | CRC 序列包括发送器的CRC 计算结果。接收器计算CRC 的方法与发送器相同。如果计算结果与接  收到CRC 序列的结果不相符，则检测到一个CRC 错误（CRC ERROR）。 |
| 形式错误 | 当一个固定形式的位场含有1 个或多个非法位，则检测到一个形式错误（FORM ERROR）。 |
| 应答错误 | 只要在ACK 间隙（ACK SLOT）期间所监视的位不为“显性”，则发送器会检测到一个应答错误  （ACKNOWLEDGMENT ERROR）。 |

错误标志

检测到错误条件的站通过发送错误标志指示错误。

对于“错误主动”的节点，错误信息为“主动错误标志”，对于“错误被动”的节点，错误信息为“被动错误标志”。站检测到无论是位错误、填充错误、形式错误，还是应答错误，这个站会在下一位时发出错误标志信息。

只要检测到的错误的条件是CRC 错误，错误标志的发送开始于ACK 界定符之后的位（其他的错误条件除外）。

故障界定

至于故障界定，单元的状态可能为以下三种之一：

• “错误主动”

• “错误被动”

• “总线关闭”

“错误主动”的单元可以正常地参与总线通讯并在错误被检测到时发出主动错误标志。

“错误被动”的单元不允许发送主动错误标志。“错误被动”的单元参与总线通讯而且在错误被检测

到时只发出被动错误标志。而且，发送以后，“错误被动”单元将在预设下一个发送之前处于等待状态。

（见“挂起发送”）

“总线关闭”的单元不允许在总线上有任何的影响（比如，关闭输出驱动器）。

在每一总线单元里实现两种计数以便故障界定：

• 发送错误计数

• 接收错误计数

这些计数按以下规则改变（注意：在给定的报文发送期间，可能要用到的规则不只一个）：

1. 当接收器检测到一个错误，接收错误计数就加1。在发送主动错误标志或过载标志期间所检测到的

错误为位错误时，接收错误计数器值不加1。

2. 当错误标志发送以后,接收器检测到的第一个位为“显性”时，接收错误计数值加8。

3. 当发送器发送一错误标志时，发送错误计数器值加8。

例外情况1：

发送器为“错误被动”，并检测到一应答错误（注：此应答错误由检测不到一“显性”应答 以及当发

送被动错误标志时检测不到一“显性”位而引起）。

例外情况2：

发送器因为填充错误而发送错误标志（注：此填充错误发生于仲裁期间。引起填充错误是由于：填充

位〈填充位〉位于RTR 位之前，并已作为“隐性”发送，但是却被监视为“显性”）。

例外情况1 和例外情况2 时，发送错误计数器值不改变。

4. 发送主动错误标志或过载标志时，如果发送器检测到位错误，则发送错误计数器值加8。

5. 当发送主动错误标志或过载标志时，如果接受器检测到位错误（位错误），则接收错误计数器值加8。

6. 在发送主动错误标志、被动错误标志或过载标志以后，任何节点最多容许7 个连续的 “显性”位。

以下的情况，每一发送器将它们的发送错误计数值加8，及每一接收器的接收错误计数值加8：

当检测到第14 个连续的“显性”位后；

在检测到第8 个跟随着被动错误标志的连续的“显性”位以后；

在每一附加的8 个连续“显性”位顺序之后。

7. 报文成功传送后（得到应答及直到帧末尾结束没有错误），发送错误计数器值减1，除非已经是0。

8. 如果接收错误计数值介于1 和127 之间，在成功地接收到报文后（直到ACK 间隙接收没有错误，

及成功地发送了应答位），接收错误计数器值减1。如果接收错误计数器值是0，则它保持0，如果大于

127，则它会设一值介于119 到127 之间。

9. 当发送错误计数器值等于或超过128 时，或当接收错误计数器值等于或超过128 时，节点为“错

误被动”。让节点成为“错误被动”的错误条件致使节点发出主动错误标志。

10.当发送错误计数器值大于或等于256 时，节点为“总线关闭”。

11. 当发送错误计数器值和接收错误计数器值都小于或等于127 时，“错误被动”的节点重新变为“错

误主动”。

12. 在总线监视到128 次出现11 个连续“隐性”位之后，“总线关闭”的节点可以变成“错误主动”

（不再是“总线关闭”），它的错误计数值也被设置为0。

备注：一个大约大于96 的错误计数值显示总线被严重干扰。最好能够采取措施测试这个条件。备注：起动/睡眠：如果起动期间内只有1 个节点在线，以及如果这个节点发送一些报文，则将不会有

应答，如此检测到错误并重复报文。由于此原因，节点会变为“错误被动”，而不是“总线关闭”。