

## CAN 通信协议简介

控制器局域网总线（CAN，Controller Area Network）是一种用于实时应用的串行通讯协议总线，它可以使用双绞线来传输信号，是世界上应用最广泛的现场总线之一。CAN 协议用于汽车中各种不同元件之间的通信，以此取代昂贵而笨重的配电线束。该协议的健壮性使其用途延伸到其他自动化和工业应用。CAN 协议的特性包括完整性的串行数据通讯、提供实时支持、传输速率高达 1Mb/s、同时具有 11 位的寻址以及检错能力。

### 概述

### 总线发展

控制器局域网 CAN( Controller Area Network)属于现场总线的范畴，是一种有效支持分布式控制系统的串行通信网络。是由德国博世公司在 20 世纪 80 年代专门为汽车行业开发的一种串行通信总线。由于其高性能、高可靠性以及独特的设计而越来越受到人们的重视，被广泛应用于诸多领域。而且能够检测出产生的任何错误。当信号传输距离达到 10km 时，CAN 仍可提供高达 50kbit/s 的数据传输速率。由于 CAN 总线具有很高的实时性能和应用范围，从位速率最高可达 1Mbps 的高速网络到低成本多线路的 50Kbps 网络都可以任意搭配。因此，CAN 已经在汽车业、航空业、工业控制、安全防护等领域中得到了广泛应用。

随着 CAN 总线在各个行业和领域的广泛应用，对其的通信格式标准化也提出了更严格的要求。1991 年 CAN 总线技术规范（Version2.0）制定并发布。该技术规范共包括 A 和 B 两个部分。其中 2.0A 给出了 CAN 报文标准格式，而 2.0B 给出了标准的和扩展的两种格式。美国的汽车工程学会 SAE 在 2000 年提出了 J1939 协议，此后该协议成为了货车和客车中控制器局域网的通用标准。CAN 总线技术也在不断发展。传统的 CAN 是基于事件触发的，信息传输时间的不确定性和优先级反转是它固有的缺陷。当总线上传输消息密度较小时，这些缺陷对系统的实时性影响较小；但随着在总线上传输消息密度的增加，系统实时性能会急剧下降。为了满足汽车控制对实时性和传输消息密度不断增长的需要，改善 CAN 总线的实时性能非常必要。于是，传统 CAN 与时间触发机制相结合产生了 TTCAN（Time-Triggered CAN），ISO11898-4 已包含了 TTCAN。TTCAN 总线与传统 CAN 总线系统的区别是：总线上不同的消息定义了不同的时间槽(Timer Slot)。

### 相关组织

依据国际标准化组织/开放系统互连(International Standardization Organization/Open System Interconnection, ISO/OSI)参考模型，CAN 的 ISO/OSI 参考模型的层结构。

### 概念特征

#### CAN 总线的工作原理

CAN 总线使用串行数据传输方式，可以 1Mb/s 的速率在 40m 的双绞线上运行，也可以使用光缆连接，而且在这种总线上总线协议支持多主控制器。<sup>[1]</sup>CAN 与 I2C 总线的许多细节很类似，但也有一些明显的区别。当 CAN 总线上的一个节点(站)发送数据时，它以报文形式广播给网络中所有节点。对每个节点来说，无论数据是否是发给

自己的，都对其进行接收。每组报文开头的 11 位字符为标识符，定义了报文的优先级，这种报文格式称为面向内容的编址方案。在同一系统中标识符是唯一的，不可能有两个站发送具有相同标识符的报文。当几个站同时竞争总线读取时，这种配置十分重要。

当一个站要向其它站发送数据时，该站的 CPU 将要发送的数据和自己的标识符传送给本站的 CAN 芯片，并处于准备状态；当它收到总线分配时，转为发送报文状态。CAN 芯片将数据根据协议组织成一定的报文格式发出，这时网上的其它站处于接收状态。每个处于接收状态的站对接收到的报文进行检测，判断这些报文是否是发给自己的，以确定是否接收它。由于 CAN 总线是一种面向内容的编址方案，因此很容易建立高水准的控制系统并灵活地进行配置。我们可以很容易地在 CAN 总线中加进一些新站而无需在硬件或软件上进行修改。当所提供的新站是纯数据接收设备时，数据传输协议不要求独立的部分有物理目的地址。它允许分布过程同步化，即总线上控制器需要测量数据时，可由网上获得，而无须每个控制器都有自己独立的传感器。

### CAN 总线特征

(1)报文(Message)总线上的数据以不同报文格式发送，但长度受到限制。当总线空闲时，任何一个网络上的节点都可以发送报文。

(2)信息路由(Information Routing)在 CAN 中，节点不使用任何关于系统配置的报文，比如站地址，由接收节点根据报文本身特征判断是否接收这帧信息。因此系统扩展时，不用对应用层以及任何节点的软件和硬件作改变，可以直接在 CAN 中增加节点。

(3)标识符(Identifier) 要传送的报文有特征标识符(是数据帧和远程帧的一个域)，它给出的不是目标节点地址，而是这个报文本身的特征。信息以广播方式在网络上发送，所有节点都可以接收到。节点通过标识符判定是否接收这帧信息。

(4)数据一致性应确保报文在 CAN 里同时被所有节点接收或同时不接收，这是配合错误处理和再同步功能实现的。

(5)位传输速率不同的 CAN 系统速度不同，但在一个给定的系统里，位传输速率是唯一的，并且是固定的。

(6)优先权 由发送数据的报文中的标识符决定报文占用总线的优先权。标识符越小，优先权越高。

(7)远程数据请求(Remote Data Request) 通过发送远程帧，需要数据的节点请求另一节点发送相应的数据。回应节点传送的数据帧与请求数据的远程帧由相同的标识符命名。

(8)仲裁(Arbitration) 只要总线空闲，任何节点都可以向总线发送报文。如果有两个或两个以上的节点同时发送报文，就会引起总线访问碰撞。通过使用标识符的逐位仲裁可以解决这个碰撞。仲裁的机制确保了报文和时间均不损失。当具有相同标识符的数据帧和远程帧同时发送时，数据帧优先于远程帧。在仲裁期间，每一个发送器都对发送位的电平与被监控的总线电平进行比较。如果电平相同，则这个单元可以继续发送，如果发送的是“隐性”电平而监视到的是“显性”电平，那么这个单元就失去了仲裁，必须退出发送状态。

(9)总线状态 总线有“显性”和“隐性”两个状态，“显性”对应逻辑“0”，“隐性”对应逻辑“1”。“显性”状态和“隐性”状态与为“显性”状态，所以两个节点同时分别发送“0”和“1”时，总线上呈现“0”。CAN 总线采用二进制不归零(NRZ)编码方式，所以总线上不是“0”，就是“1”。但是 CAN 协议并没有具体定义这两种状态的具体实现方式。

(10)故障界定(Confinement) CAN 节点能区分瞬时扰动引起的故障和永久性故障。故障节点会被关闭。

(11)应答接收节点对正确接收的报文给出应答，对不一致报文进行标记。

(12)CAN 通讯距离最大是 10 公里（设速率为 5Kbps），或最大通信速率为 1Mbps(设通信距离为 40 米)。

(13)CAN 总线上的节点数可达 110 个。通信介质可在双绞线，同轴电缆，光纤中选择。

(14)报文是短帧结构，短的传送时间使其受干扰概率低，CAN 有很好的校验机制，这些都保证了 CAN 通信的可靠性。

#### CAN 总线的特点

- (1) 具有实时性强、传输距离较远、抗电磁干扰能力强、成本低等优点；
- (2) 采用双线串行通信方式，检错能力强，可在高噪声干扰环境中工作；
- (3) 具有优先权和仲裁功能，多个控制模块通过 CAN 控制器挂到 CAN-bus 上，形成多主机局部网络；
- (4) 可根据报文的 ID 决定接收或屏蔽该报文；
- (5) 可靠的错误处理和检错机制；
- (6) 发送的信息遭到破坏后，可自动重发；
- (7) 节点在错误严重的情况下具有自动退出总线的功能；
- (8) 报文不包含源地址或目标地址，仅用标志符来指示功能信息、优先级信息。

## 协议内容

CAN 总线的物理层是将 ECU 连接至总线的驱动电路。ECU 的总数将受限于总线上的电气负荷。物理层定义了物理数据在总线上各节点间的传输过程，主要是连接介质、线路电气特性、数据的编码/解码、位定时和同步的实施标准。

#### 总线竞争的原则

BOSCH CAN 基本上没有对物理层进行定义，但基于 CAN 的 ISO 标准对物理层进行了定义。设计一个 CAN 系统时，物理层具有很大的选择余地，但必须保证 CAN 协议中媒体访问层非破坏性位仲裁的要求，即出现总线竞争时，具有较高优先权的报文获取总线竞争的原则，所以要求物理层必须支持 CAN 总线中隐性位和显性位的状态特征。在没有发送显性位时，总线处于隐性状态，空闲时，总线处于隐性状态；当有一个或多个节点发送显性位，显性位覆盖隐性位，使总线处于显性状态。

在此基础上，物理层主要取决于传输速度的要求。从物理结构上看，CAN 节点的构成如图 7-8 所示。在 CAN 中，物理层从结构上可分为三层：分别是物理信号层(Physical Layer Signaling, PLS)、物理介质附件(Physical Media Attachment, PMA)层和介质从属接口(Media Dependent: Inter-face, MDI)层。其中 PLS 连同数据链路层功能由 CAN 控制器完成，PMA 层功能由 CAN 收发器完成，MDI 层定义了电缆和连接器的特性。目前也

有支持 CAN 的微处理器内部集成了 CAN 控制器和收发器电路，如 MC68HC908GZI6。PMA 和 MDI 两层有很多不同的国际或国家或行业标准，也可自行定义，比较流行的是 ISO11898 定义的高速 CAN 发送/接收器标准。

### 节点数量

CAN 网络上的节点不分主从，任一节点均可在任意时刻主动地向网络上其他节点发送信息，通信方式灵活，利用这一特点可方便地构成多机备份系统，CAN 只需通过报文滤波即可实现点对点、一点对多点及全局广播等几种方式传送接收数据，无需专门的“调度”。CAN 的直接通信距离最远可达 10km（速率 5kbps 以下）；通信速率最高可达 1Mbps(此时通信距离最长为 40m)。CAN 上的节点数主要决定于总线驱动电路，目前可达 110 个；报文标识符可达 2032 种（CAN2.0A），而扩展标准（CAN2.0B）的报文标识符几乎不受限制。

### CAN 的数据链路层

CAN 的数据链路层是其核心内容，其中逻辑链路控制(Logical Link control, LLC)完成过滤、过载通知和管理恢复等功能，媒体访问控制(Medium Access control, MAC)子层完成数据打包/解包、帧编码、媒体访问管理、错误检测、错误信令、应答、串并转换等功能。这些功能都是围绕信息帧传送过程展开的。

## 报文传输

### 报文类型

在 CAN2.0B 的版本协议中有两种不同的帧格式，不同之处为标识符域的长度不同，含有 11 位标识符的帧称之为标准帧，而含有 29 位标识符的帧称为扩展帧。如 CAN1.2 版本协议所描述，两个版本的标准数据帧格式和远程帧格式分别是等效的，而扩展格式是 CAN2.0B 协议新增加的特性。为使控制器设计相对简单，并不要求执行完全的扩展格式，对于新型控制器而言，必须不加任何限制的支持标准格式。但无论是哪种帧格式，在报文传输时都有以下四种不同类型的帧：

### 帧类型

在报文传输时，不同的帧具有不同的传输结构，下面将分别介绍四种传输帧的结构，只有严格按照该结构进行帧的传输，才能被节点正确接收和发送。

(1)数据帧由七种不同的位域(Bit Field)组成：帧起始(Start of)、仲裁域(Arbitration Field)、控制域(Control Field)、数据域(DataField)、CRC 域(CRC Field)、应答域(ACK Field)和帧结尾(End of)。数据域的长度可以为 0~8 个字节。

1)帧起始(SOF)：帧起始(SOF)标志着数据帧和远程帧的起始，仅由一个“显性”位组成。在 CAN 的同步规则中，当总线空闲时(处于隐性状态)，才允许站点开始发送(信号)。所有的站点必须同步于首先开始发送报文的站点的帧起始前沿(该方式称为“硬同步”)。

2)仲裁域：仲裁域由标识符和 RTR 位组成，标准帧格式与扩展帧格式的仲裁域格式不同。标准格式里，仲裁域由 11 位标识符和 RTR 位组成。标识符位有 ID28~ID18。扩展帧格式里，仲裁域包括 29 位标识符、SRR 位、IDE(Identifier Extension, 标志符扩展)位、RTR 位。其标识符有 ID28~ID0。为了区别标准帧格式和扩展帧格式，

CAN1. 0~1. 2 版本协议的保留位 r1 现表示为 IDE 位。IDE 位为显性，表示数据帧为标准格式；IDE 位为隐性，表示数据帧为扩展帧格式。在扩展帧中，替代远程请求(Substitute Remote Request, SRR)位为隐性。仲裁域传输顺序为从最高位到最低位，其中最高 7 位不能全为零。RTR 的全称为“远程发送请求(Remote TransmissionRequest)”。RTR 位在数据帧里必须为“显性”，而在远程帧里必须为“隐性”。它是区别数据帧和远程帧的标志。

3)控制域：控制域由 6 位组成，包括 2 个保留位(r0、r1 同于 CAN 总线协议扩展)及 4 位数据长度码，允许的数据长度值为 0~8 字节。

4)数据域：发送缓冲区中的数据按照长度代码指示长度发送。对于接收的数据，同样如此。它可为 0~8 字节，每个字节包含 8 位，首先发送的是 MSB(最高位)。

5)CRC 校验码域：它由 CRC 域(15 位)及 CRC 边界符(一个隐性位)组成。CRC 计算中，被除的多项式包括帧的起始域、仲裁域、控制域、数据域及 15 位为 0 的解除填充的位流给定。此多项式被下列多项式  $X^{15}+X^{14}+X^{10}+X^8+X^7+X^4+X^3+1$  除(系数按模 2 计算)，相除的余数即为发至总线的 CRC 序列。发送时，CRC 序列的最高有效位被首先发送/接收。之所以选用这种帧校验方式，是由于这种 CRC 校验码对于少于 127 位的帧是最佳的。

6)应答域：应答域由发送方发出的两个(应答间隙及应答界定)隐性位组成，所有接收到正确的 CRC 序列的节点将在发送节点的应答间隙上将发送的这一隐性位改写为显性位。因此，发送节点将一直监视总线信号已确认网络中至少一个节点正确地接收到所发信息。应答界定符是应答域中第二个隐性位，由此可见，应答间隙两边有两个隐性位：CRC 域和应答界定位。

7)帧结束域：每一个数据帧或远程帧均由一串七个隐性位的帧结束域结尾。这样，接收节点可以正确检测到一个帧的传输结束。

(2)错误帧错误帧由两个不同的域组成：第一个域是来自控制器的错误标志；第二个域为错误分界符。

1)错误标志：有两种形式的错误标志。

①激活(Active)错误标志。它由 6 个连续显性位组成。

②认可(Passive)错误标志。它由 6 个连续隐性位组成。

它可由其他 CAN 总线协议控制器的显性位改写。

2)错误界定：错误界定符由 8 个隐性位组成。传送了错误标志以后，每一站就发送一个隐性位，并一直监视总线直到检测出 1 个隐性位为止，然后就开始发送其余 7 个隐性位。

(3)远程帧：远程帧也有标准格式和扩展格式，而且都由 6 个不同的位域组成：帧起始、仲裁域、控制域、CRC 域、应答域、帧结尾。与数据帧相比，远程帧的 RTR 位为隐性，没有数据域，数据长度编码域可以是 0~8 个字节的任何值，这个值是远程帧请求发送的数据帧的数据域长度。当具有相同仲裁域的数据帧和远程帧同时发送时，由于数据帧的 RTR 位为显性，所以数据帧获得优先。发送远程帧的节点可以直接接收数据。

(4)过载帧 过载帧由两个区域组成：过载标识域及过载界定符域。下述三种状态将导致过载帧发送：

- 1)接收方在接收一帧之前需要过多的时间处理当前的数据(接收尚未准备好);
- 2)在帧空隙域检测到显性位信号;
- 3)如果 CAN 节点在错误界定符或过载界定符的第 8 位采样到一个显性位节点会发送一个过载帧。

## 应用领域

### 使用范围

汽车制造中的应用、大型仪器设备中的应用、工业控制中的应用、智能家居和生活小区管理中的应用以及机器人网络互联中的应用。同时,由于 CAN 总线本身的特点,其应用范围目前已不再局限于汽车行业,而向自动控制、航空航天、航海、过程工业、机械工业、纺织机械、农用机械、机器人、数控机床、医疗器械及传感器等领域发展。CAN 已经形成国际标准,并已被公认为几种最有前途的现场总线之一。

### 发展趋势

目前大多数 CAN 控制器只做到链路层,然而随着 CAN 的发展和应用,应用层的硬件设计也成为硬件厂商的考虑范畴。