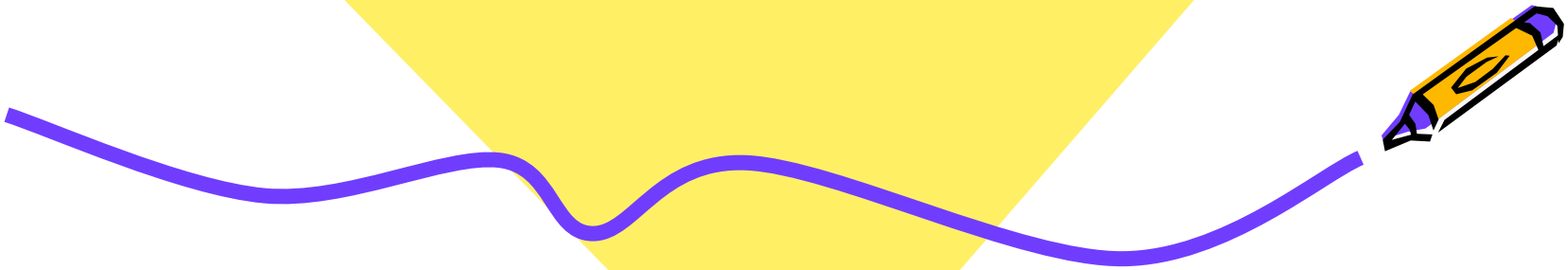
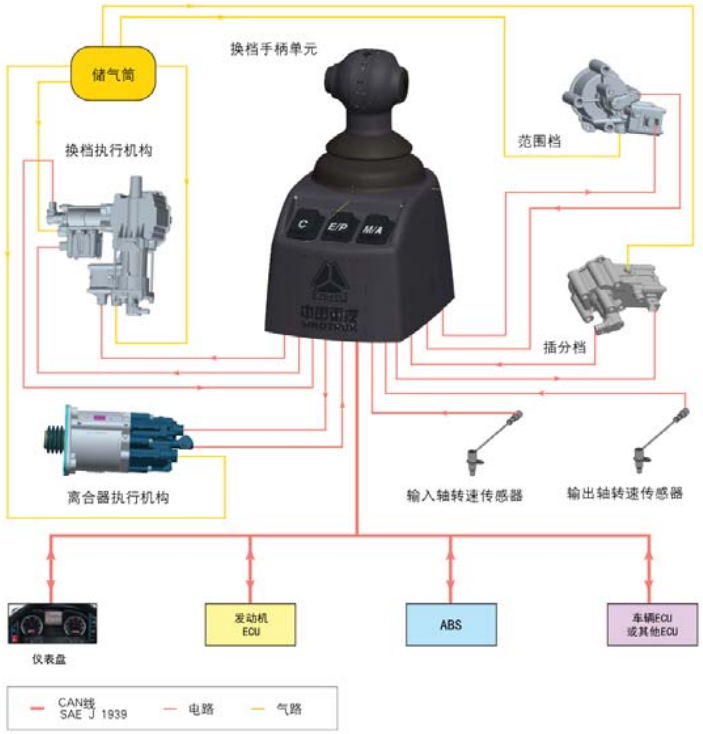
CAN总线技术基础



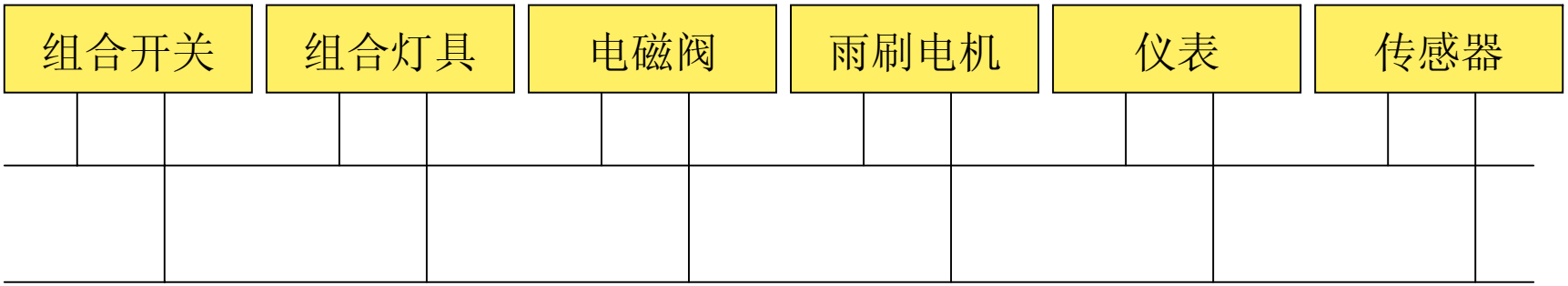
CAN总线的优势及应用

- 数据传输速度高（相对），1Mbit/s
- 抗干扰能力强（差分数据线）
- 具有自我诊断能力（错误侦测）



CAN总线的作用

CAN（“Controller Area Network”，控制器局域网）总线的作用就是将整车中各种不同的控制器连接起来，实现信息的可靠共享，并减少整车线束数量。可以设想一种极端情况，如下图所示：



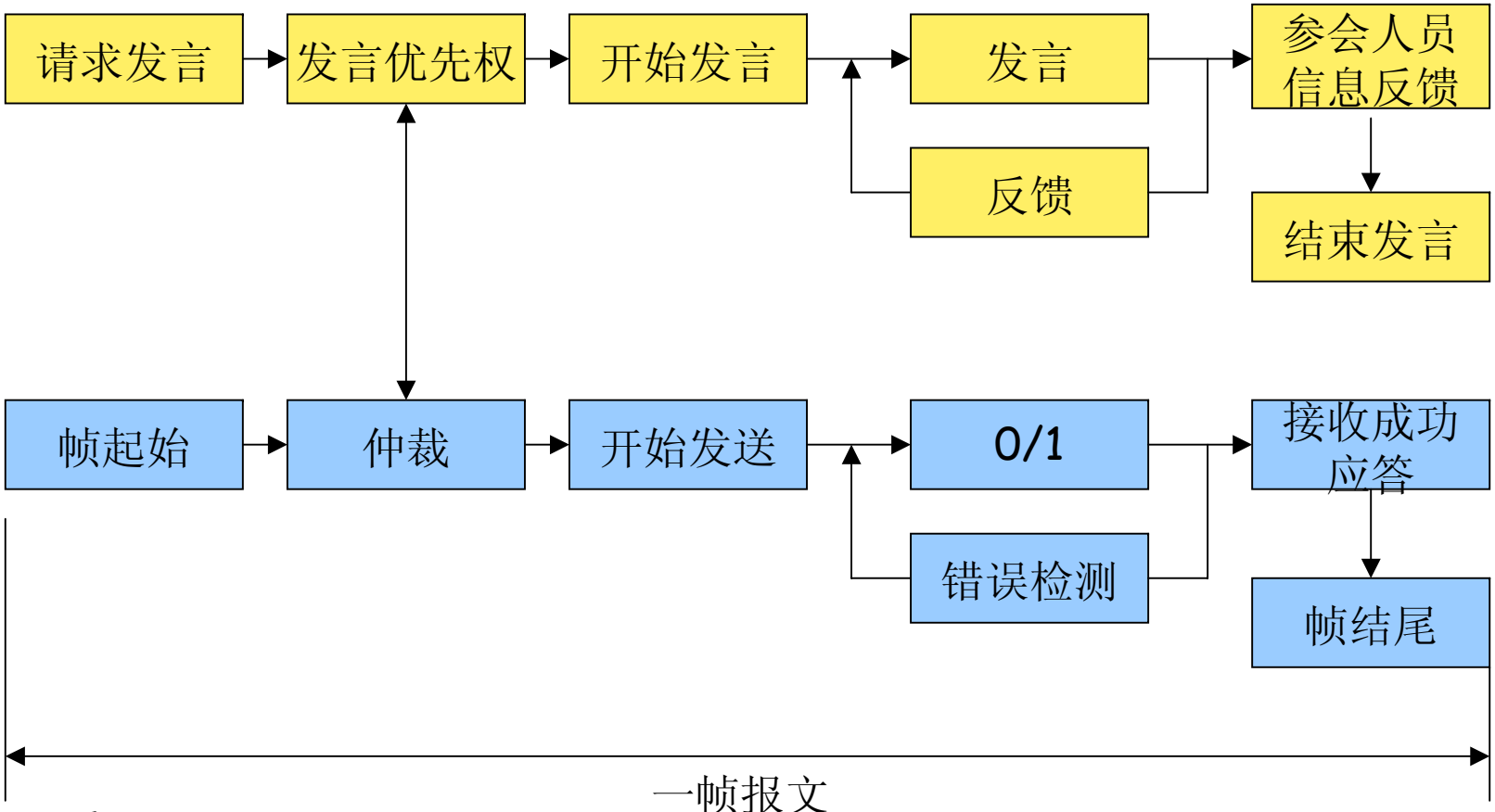
如果整车上所有的用电设备都是一个独立的CAN总线节点，并且每一个节点都向外发送自己当前的状态，并且接受来自外部的信息，那么整车的控制只需要一条CAN总线控制线和电源线就可以了！

CAN总线的基本工作原理

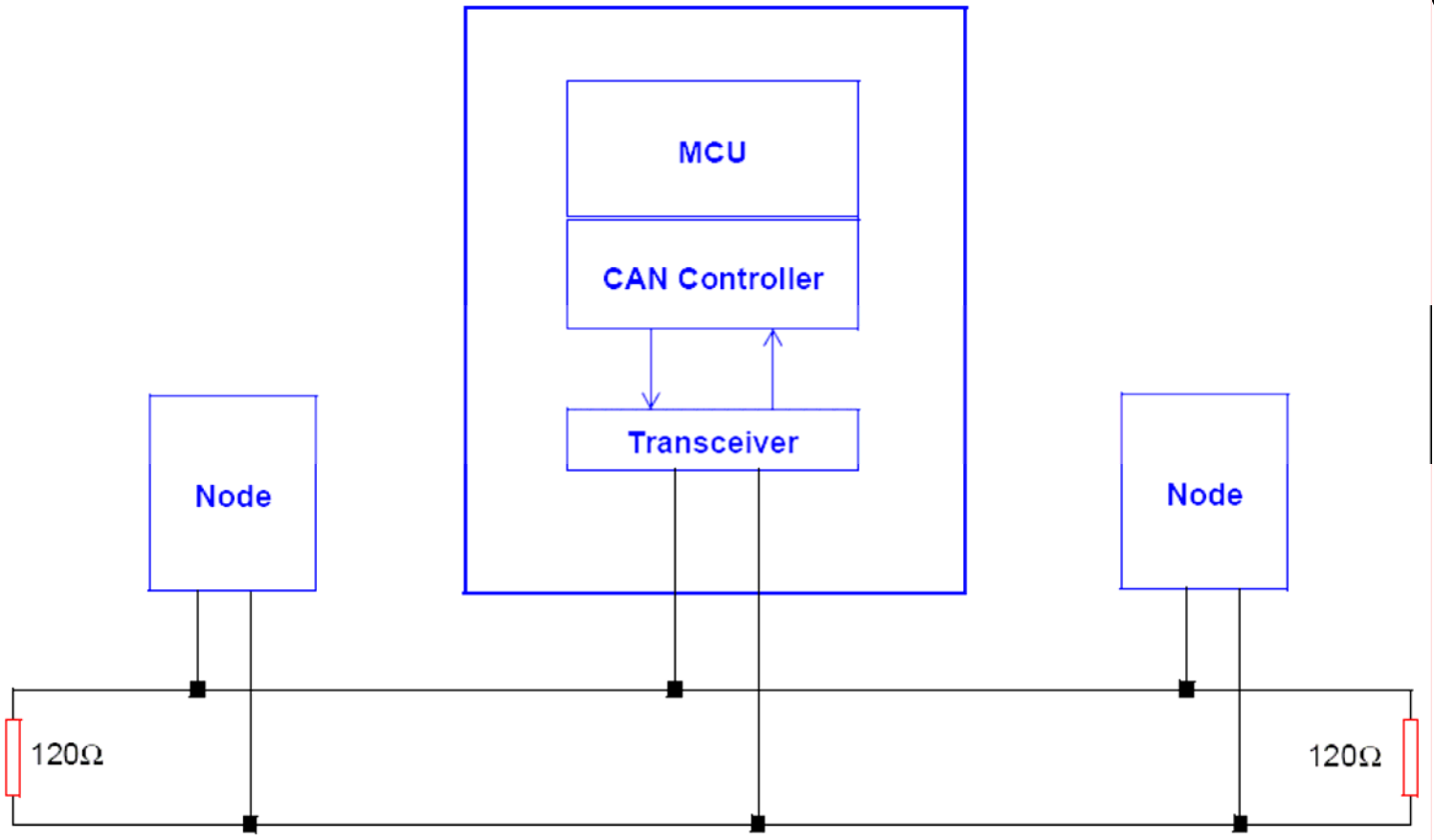
跟其他总线一样，CAN总线的通信也是通过一种类似于“会议”的机制实现的，只不过会议的过程并不是由一方（节点）主导，而是，每一个会议参加人员都可以自由的提出会议议题（多主通信模式），二者对应关系如下：

会议	局域网
参会人员	节点
参会人员身份	ID
会议议题	报文
参会人员发言顺序裁定	仲裁

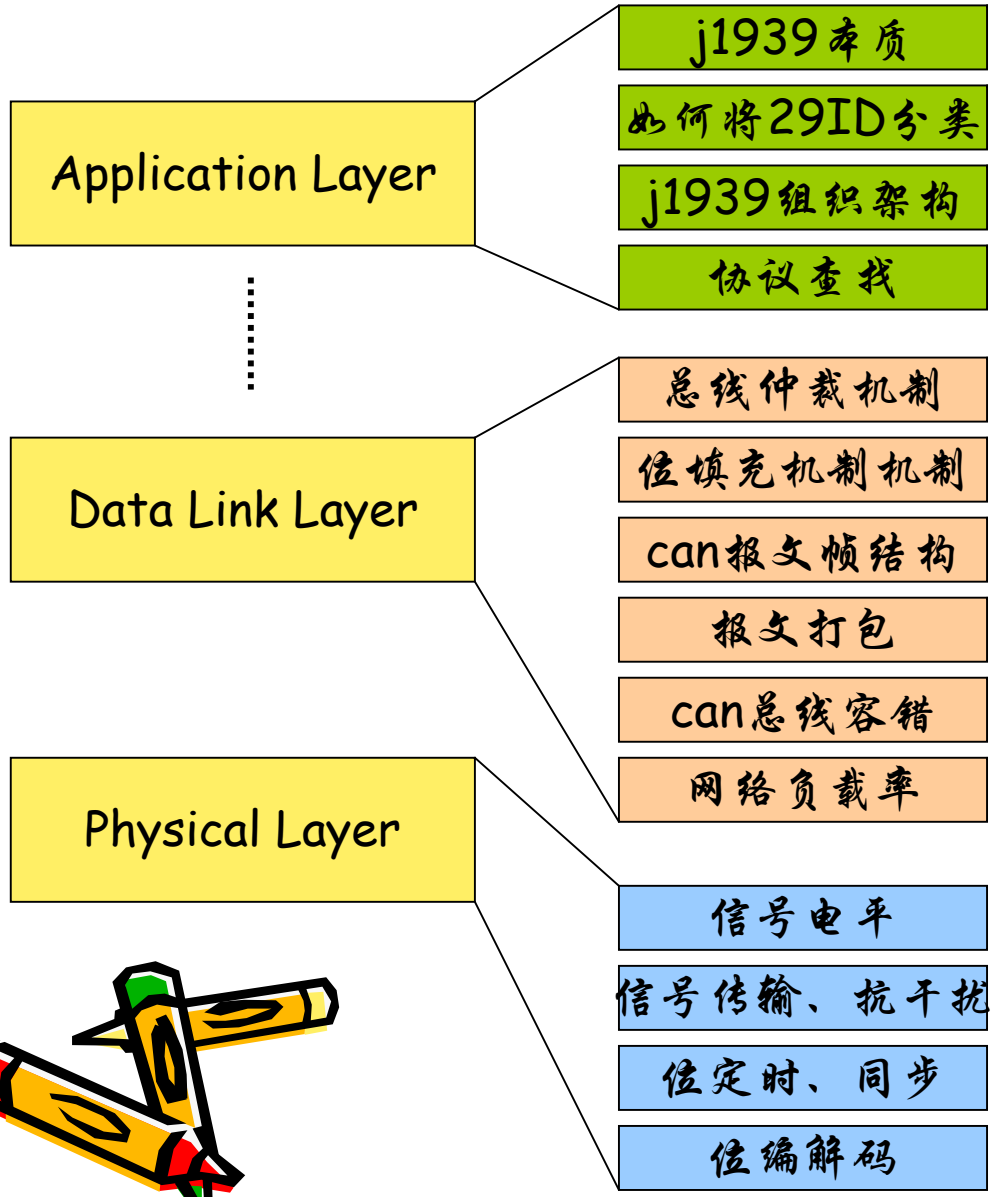
CAN总线工作原理

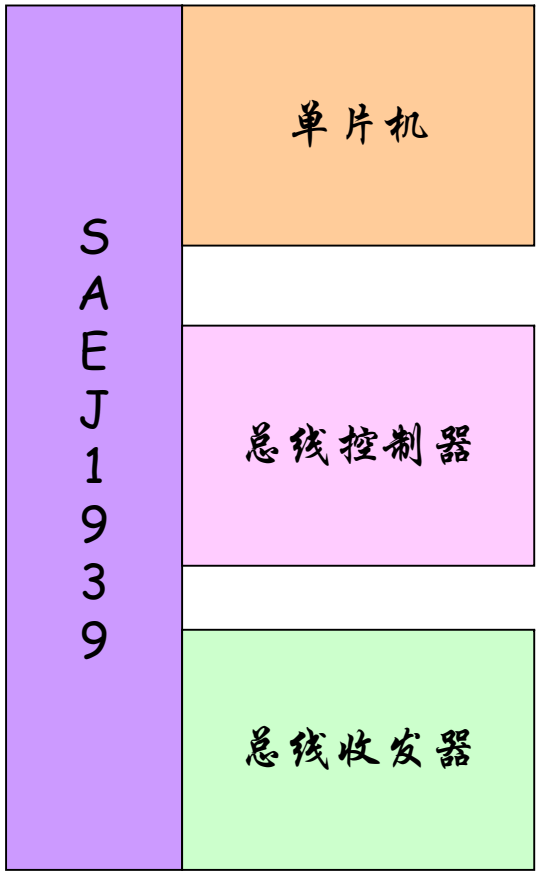

请求发言
发言优先权
开始发言
发言
反馈
参会人员
信息反馈
结束发言
帧起始
仲裁
开始发送
0/1
错误检测
接收成功
应答
帧结尾
一帧报文

CAN总线网络结构



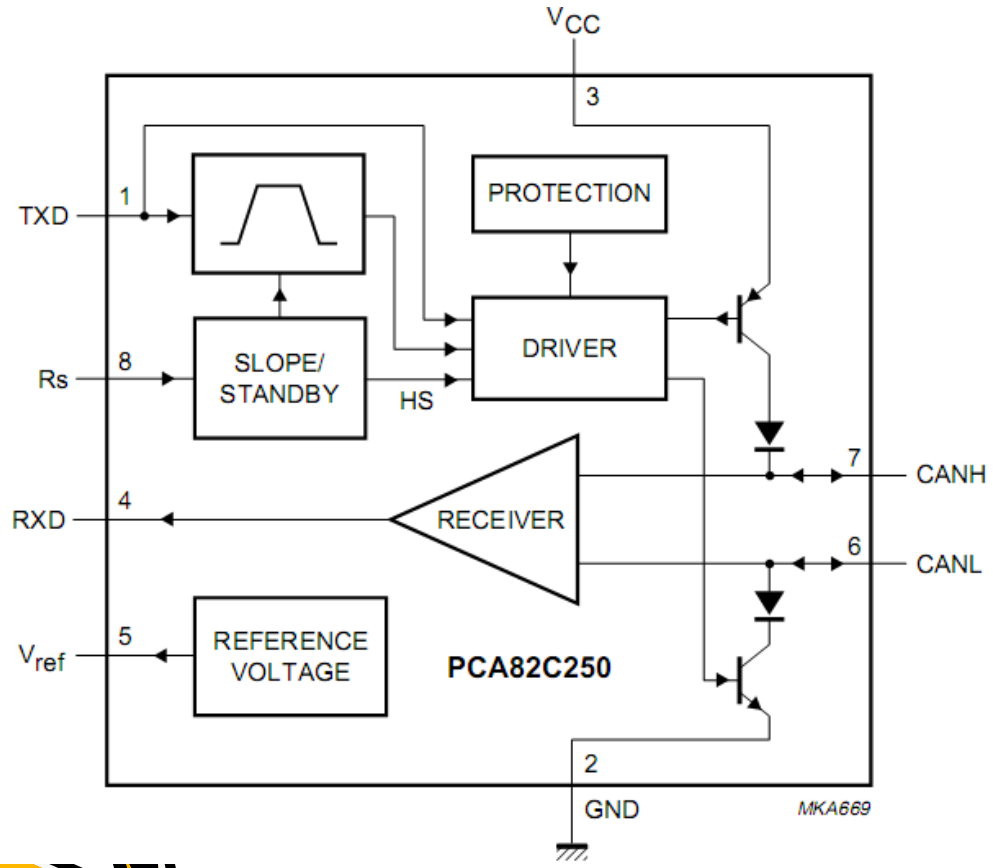
CAN总线网络节点结构





何为CAN收发器？

按照BOSCH CAN总线标准将0或1逻辑信号转换为标准中规定的电平，同时有反馈功能

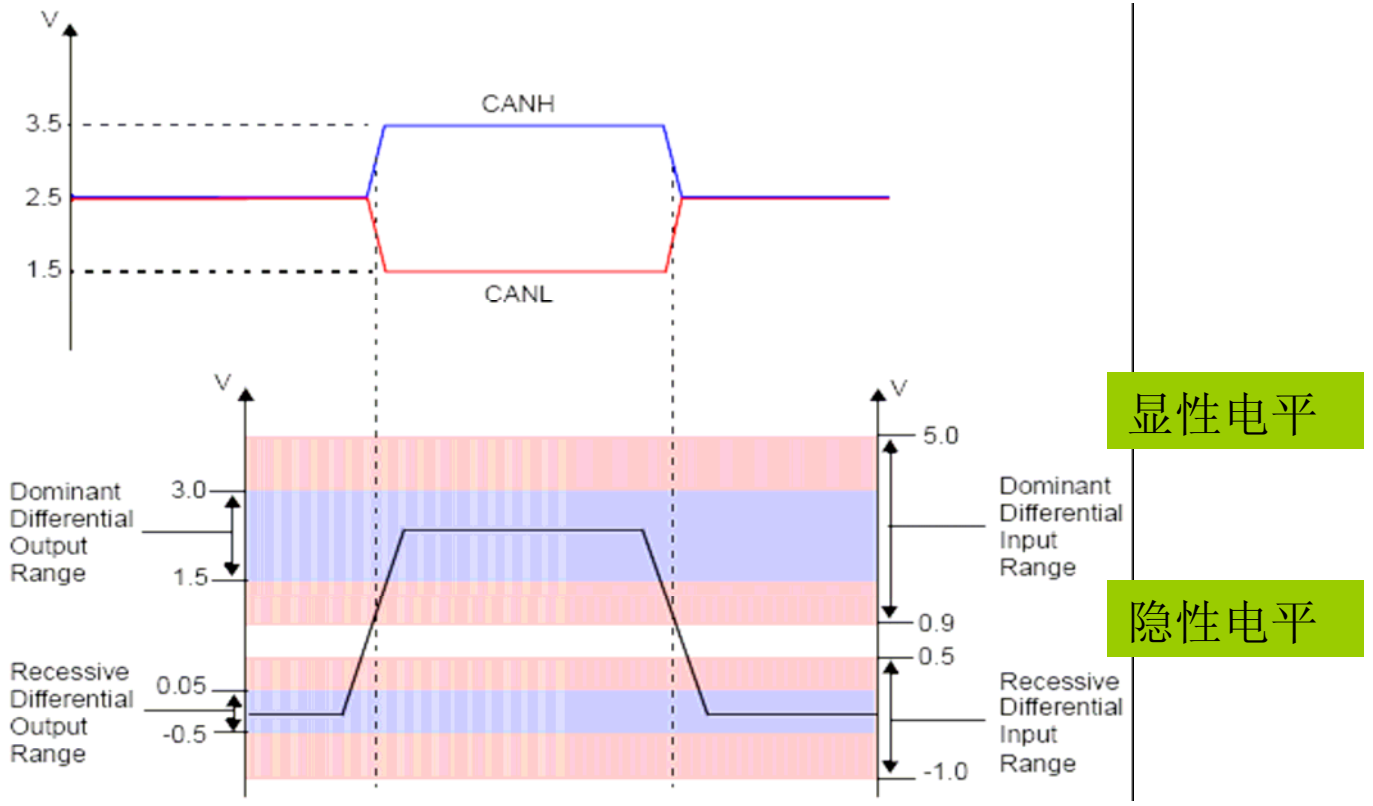


CAN总线上的电平

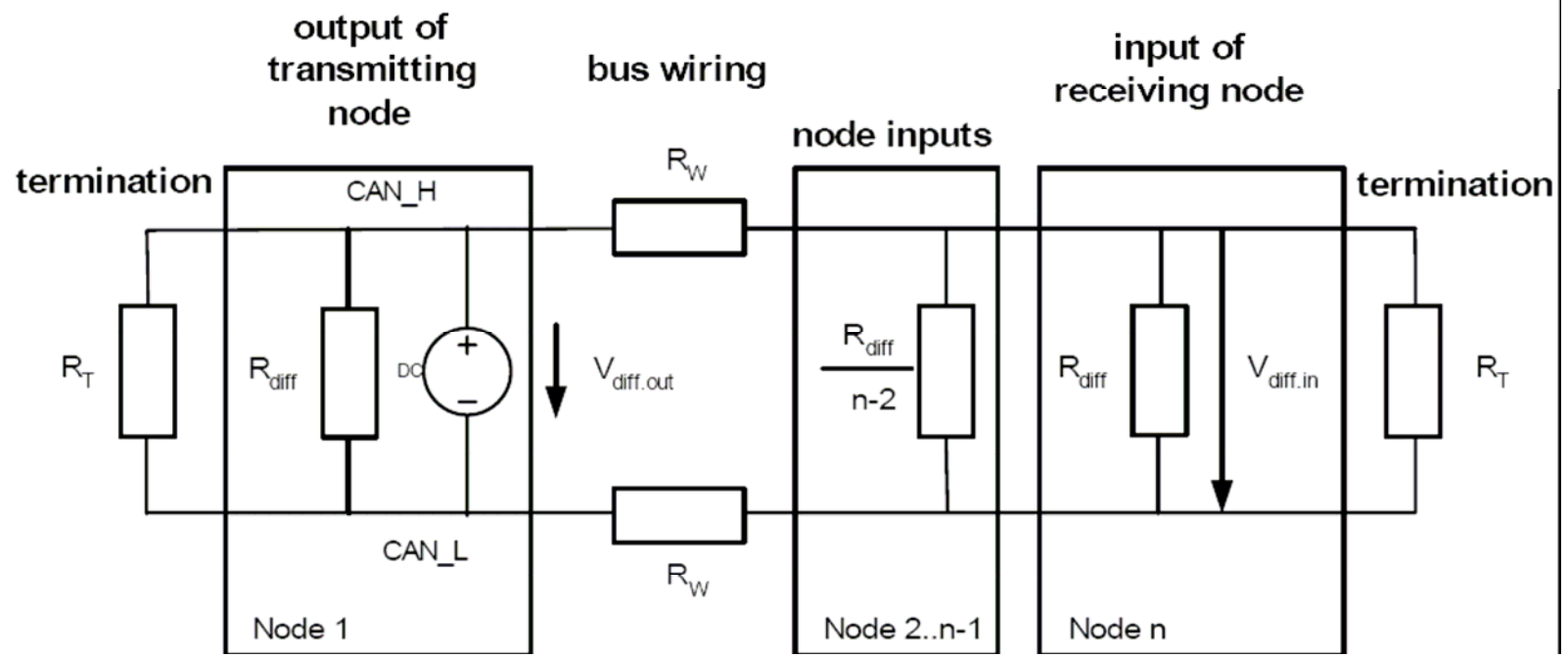
CAN2.0A/B标准规定：总线空闲时，CAN_H和CAN_L上的电压为2.5V

在数据传输时，显性电平（逻辑 0）：CAN_H 3.5V　　CAN_L 1.5V

隐性电平（逻辑 1）：CAN_H 2.5V　　CAN_L 2.5V



总线支持的最大节点数目



$$\frac{R_{\mathrm{T.min}} \times R_{\mathrm{diff.min}}}{n_{max} \times R_{\mathrm{T.min}} + 2R_{\mathrm{diff.min}}} > R_{\mathrm{L.min}}$$

Rearranged to n_{max} :

$$n_{max} < R_{\mathrm{diff.min}} \times \left(\frac{1}{R_{\mathrm{L.min}}} - \frac{2}{R_{\mathrm{T.min}}} \right)$$

总线支持的最大节点数目

Transceiver	$R_{Diff.min}$ (kΩ)	$V_{CC.min}$ (V)	$R_{L.min}$ (Ω)	Number of Nodes ($R_{T.min}$=118 Ω)	Number of Nodes ($R_{T.min}$=130 Ω)
TJA1050	25	4.75	45	131	170
		4.9	39	217	256
PCA82C250	20	4.9	45	105	136

由上表可以看出，常用的两款CAN驱动芯片支持的总线节点数目都可以满足整车CAN节点需求，这不是问题。

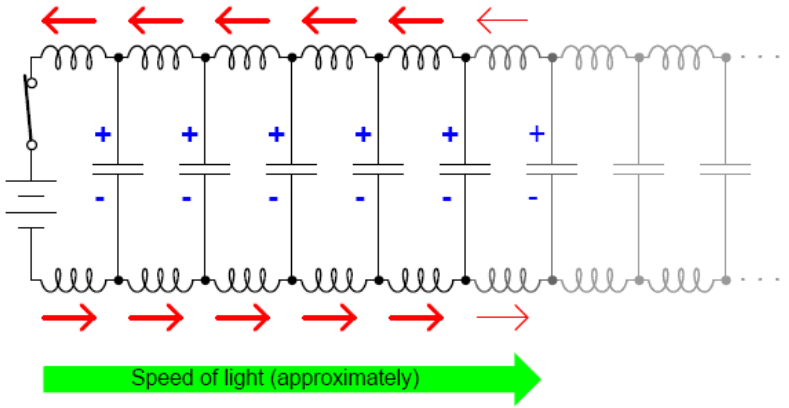
总线长度的思考

影响总线长度的主要因素：

（1）CAN总线通信的应答机制，即成功接收到一帧报文的节点必须在应答场的”应答间隙“期间发送一位“显性位”表示成功接收到一帧数据

如：通信速率为250Kbit/s，传送一个bit所需时间为：1/250×1000 = 4μ

那么，该信号在总线上的延时时间必须小于（2μ？）才能保证发送节点成功的在应答间隙期间接收到该“显性电平”。



任何一根导线都可以简化为左图所示的电路模型，可以看到，其中既有电感又有电容，因此，电流在其中传输并不是光速，而是需要一定的时间。

对于双绞线而言，信号在其中的传播延时时间约为，5ns/m（典型值）。当通信速率达到1Mbit/s时，40m的总线长度，延时时间就达到200ns，而允许延时时间为600ns左右，还是不能不考虑的！

$$\text{Velocity factor} = \frac{v}{c} = \frac{1}{\sqrt{k}}$$

注意后面同步的概念

总线长度的思考

由上面的分析可知：

总线通信速率越高，通信距离越短，对物理传输线的要求就越高，在双绞线、屏蔽线还是其他的传输线选择上，通信速率是一个很关键的参数。

影响总线长度的其他因素：

（1）信号在节点ECU内部的延时时间

（2）振荡器的容差（各个节点ECU内部晶振频率的差别）

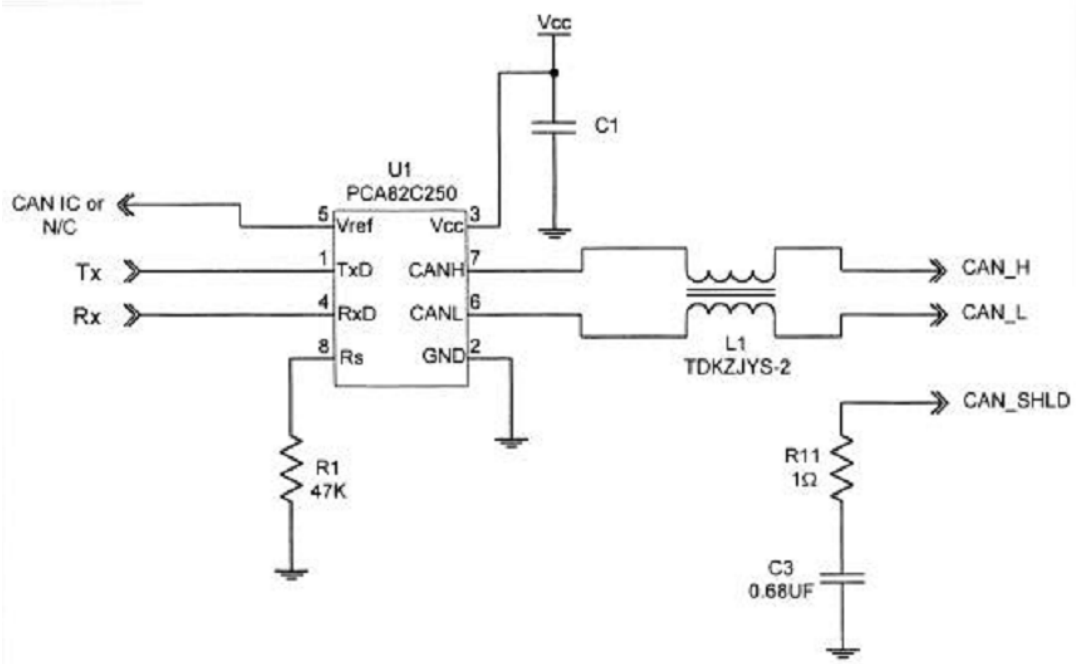
这些因素加起来就形成了CAN总线通信中总的信号延时。

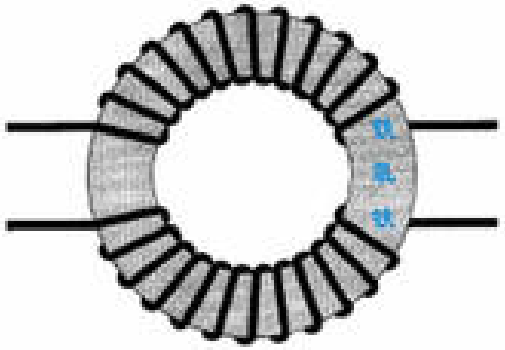
总线长度	电缆 1*)		终端电阻	最大波特率
	直流电阻	导线截面积		
0…40m	70mΩ/m	0.25 mm² ～0.34 mm² AWG23, AWG22	124Ω/1%	1Mbps at 40m
40m…300m	<60mΩ/m	0.34 mm² ～0.6 mm² AWG22, AWG20	127Ω/1% 2*)	>500Kbps at 100m
300m…600m	<40mΩ/m	0.5 mm² ～0.6 mm² AWG20	127Ω/1% 2*)	>100Kbps at 500m
600m…1km	<20mΩ/m	0.75 mm² ～0.8 mm² AWG18	127Ω/1% 2*)	>50Kbps at 1km

1) 电缆交流参数推荐值：120Ω 特征电阻、5ns/m 延时；

2) 为了把电缆直流电阻引起的电压衰减降到最小，较大的终端电阻值（例如选用非标准的 150～300Ω；而在 ISO11898 标准中，提供的参考值为“118Ω<R_T<130Ω”范围）有助于增加总线长度。

CAN总线的硬件抗干扰（1）



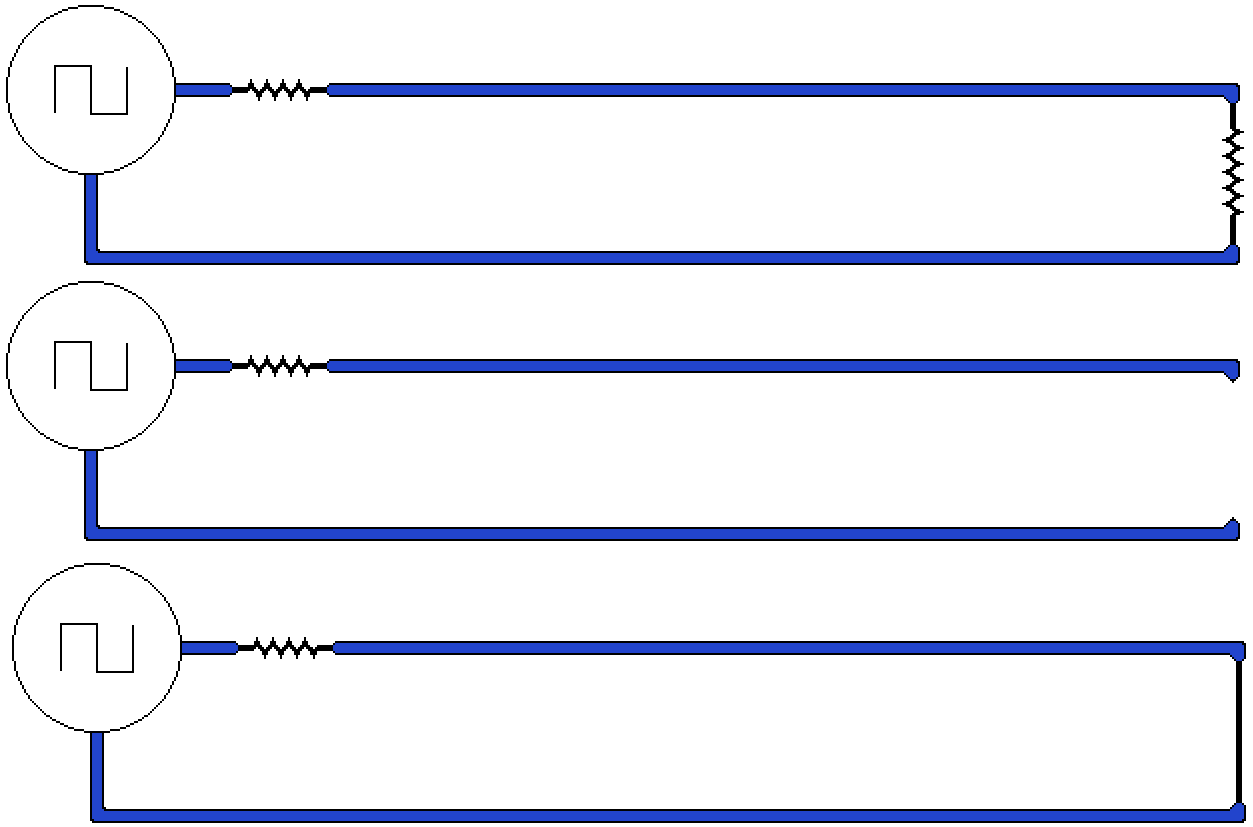


共模电感作用：共模电压有较大的感抗，差模电压感抗为零，相当于电感滤波。对共模电流有较大的阻碍作用。

CAN总线的硬件抗干扰（2）

1 终端电阻

终端电阻120欧姆并非固定不变，这跟使用的导线有关！



ISO11898的推荐值

总线长度	电缆 1*)		终端电阻	最大波特率
	直流电阻	导线截面积		
0…40m	70mΩ/m	0.25 mm² ～0.34 mm² AWG23, AWG22	124Ω/1%	1Mbps at 40m
40m…300m	<60mΩ/m	0.34 mm² ～0.6 mm² AWG22, AWG20	127Ω/1% 2*)	>500Kbps at 100m
300m…600m	<40mΩ/m	0.5 mm² ～0.6 mm² AWG20	127Ω/1% 2*)	>100Kbps at 500m
600m…1km	<20mΩ/m	0.75 mm² ～0.8 mm² AWG18	127Ω/1% 2*)	>50Kbps at 1km

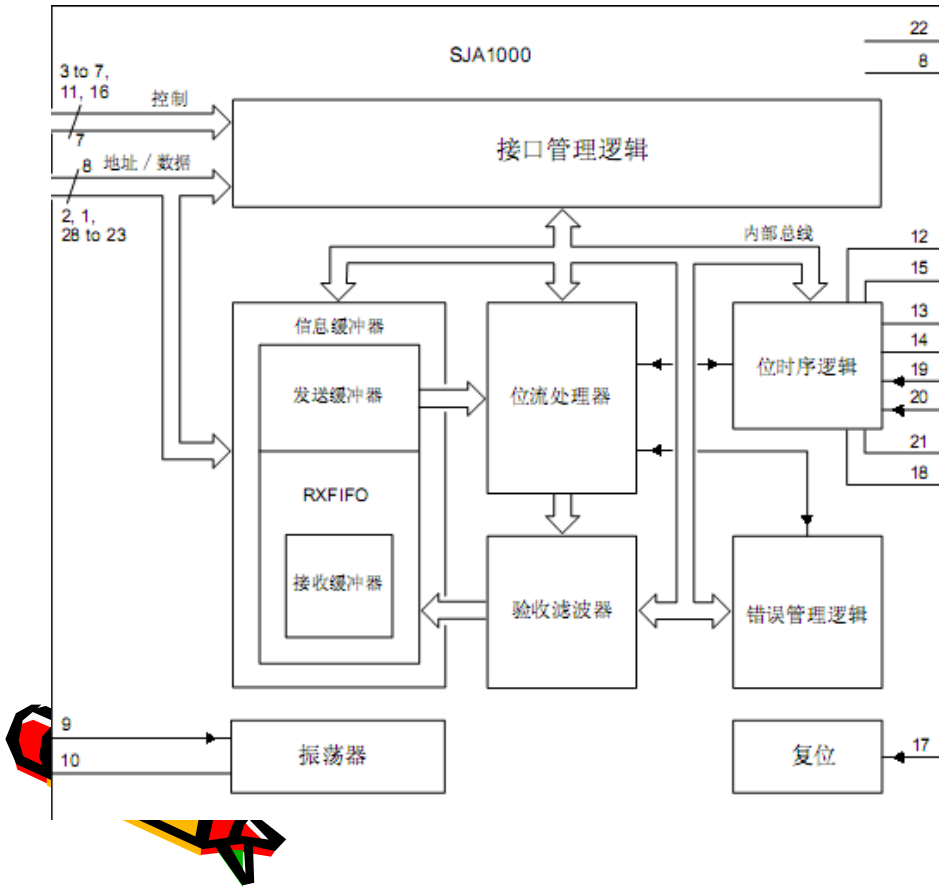
1) 电缆交流参数推荐值：120Ω 特征电阻、5ns/m 延时；

2) 为了把电缆直流电阻引起的电压衰减降到最小，较大的终端电阻值（例如选用非标准的 150～300Ω；而在 ISO11898 标准中，提供的参考值为“118Ω<R_T<130Ω”范围）有助于增加总线长度。

何为CAN控制器？

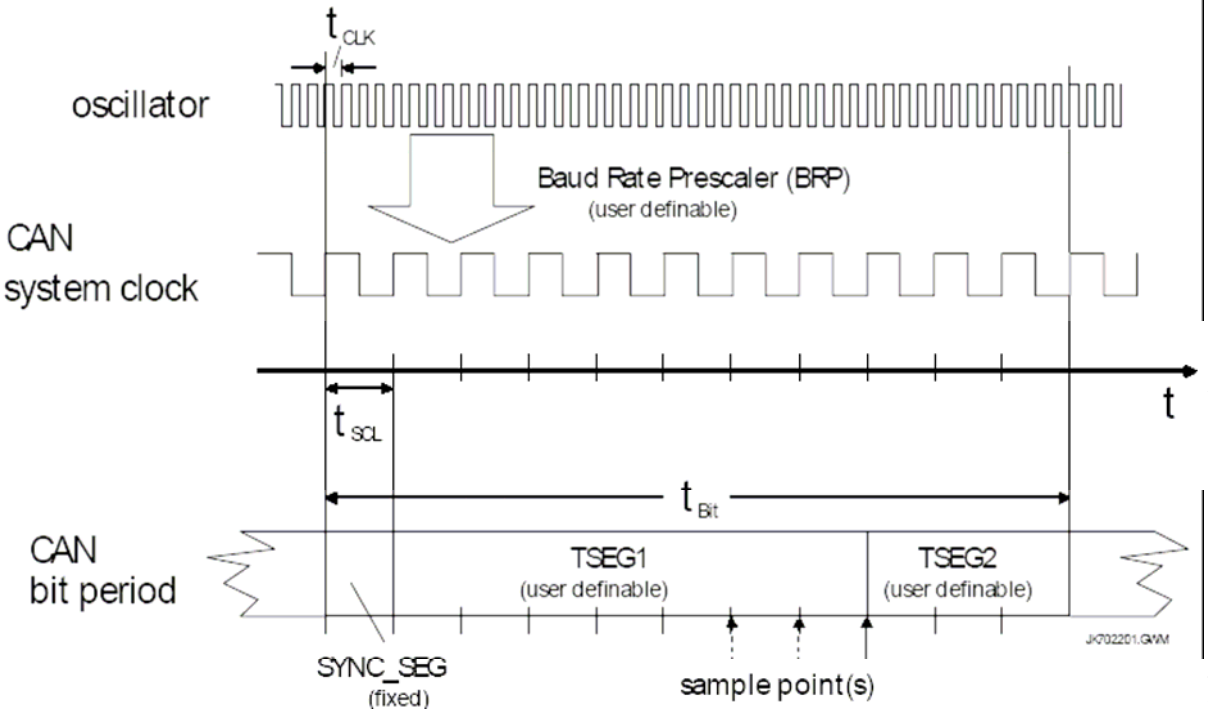
CAN控制器主要实现了两部分的功能，1：数据链路层的全部功能；2：物理层的位定时功能

也就是BOSCH CAN 2.0A/B中规定的部分



总线长度的限制——位定时、同步

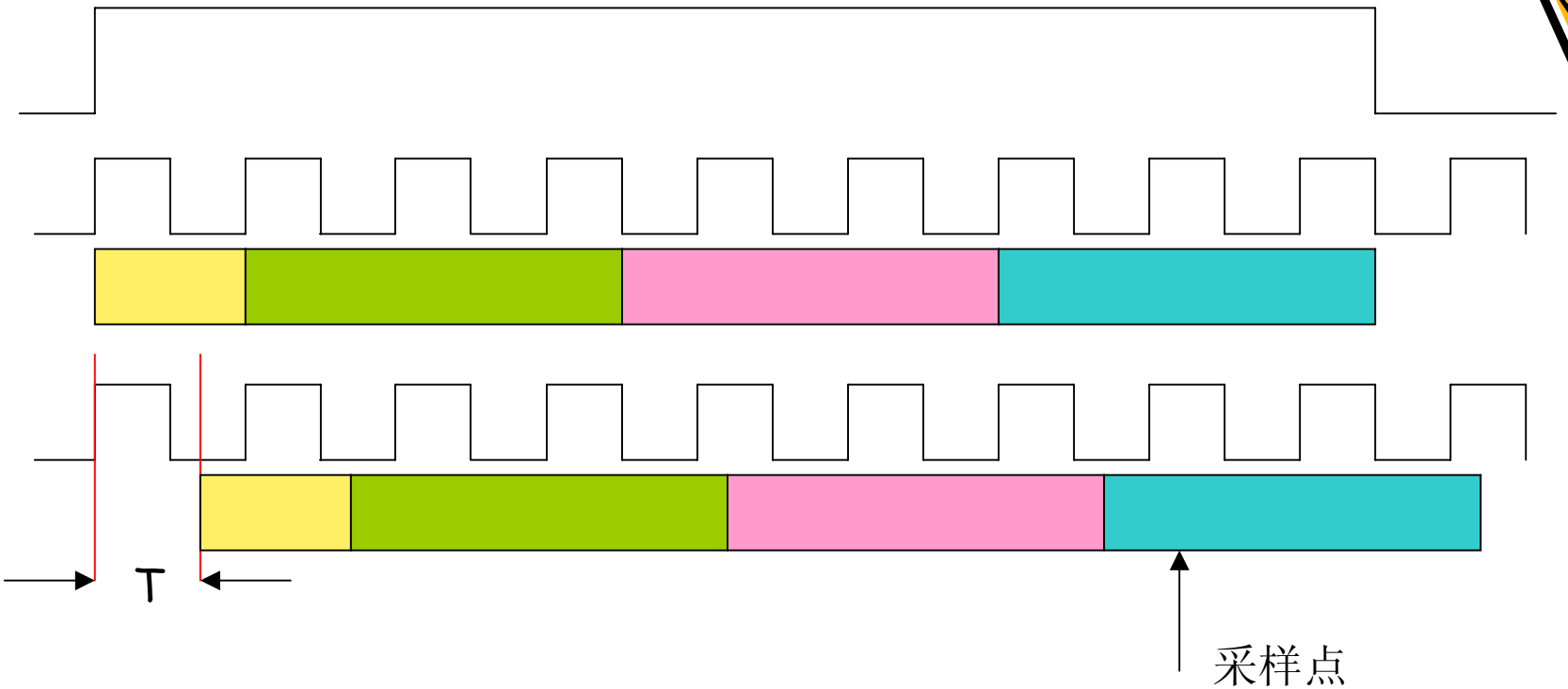
CAN总线控制器按照时间片的概念将每一个bit的时间划分成了n个时间片。这样做的目的就是为了实现CAN总线的同步、保证不同节点间时间的一致性。



如：晶振和CAN CLOCK频率均为4MHz，那么每一个时间片最小时间就为0.25μs，通信波特率为250Kbit/s，那么每一个bit的时间就为4μs，因此，每一个bit的总的时间片数目就为16。当然可以进一步提高晶振频率，使得每一个bit被划分的更加细致。

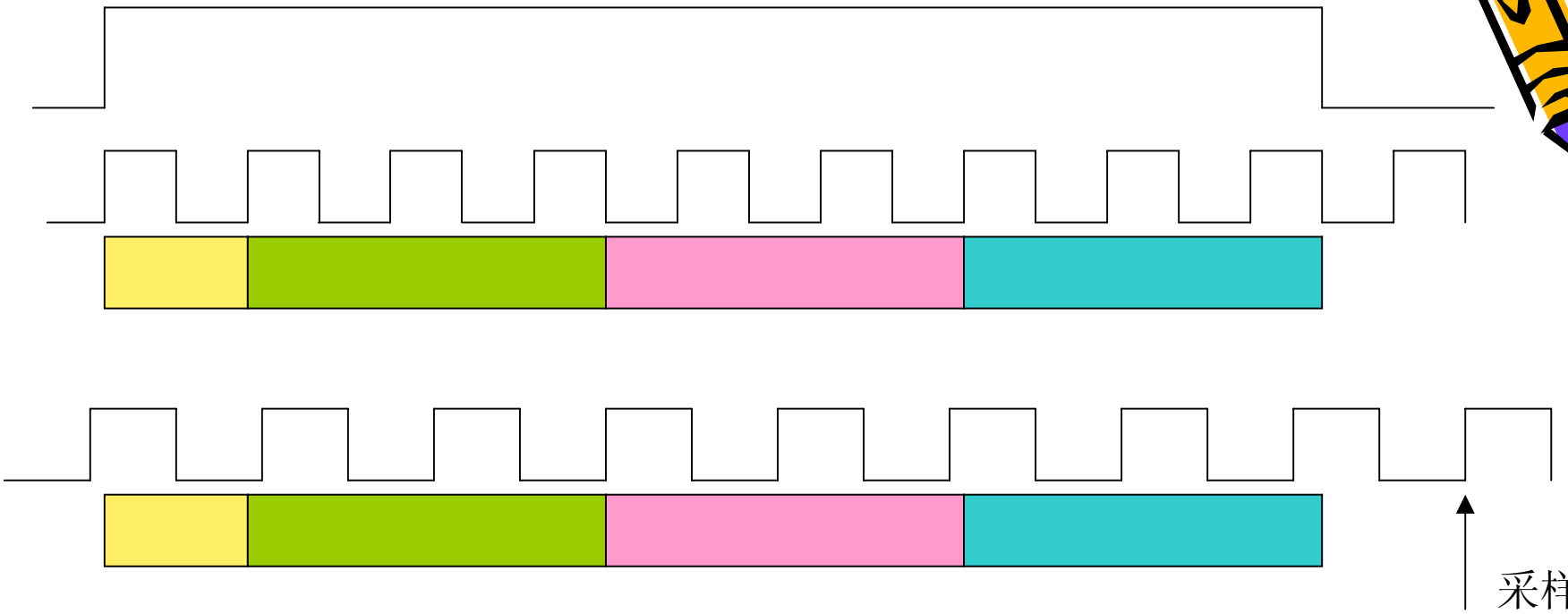
CAN2.0A/B将每一个bit的时间划分成了4段，同步段、传输段、相位段1和相位段2，每一段占用一定的时间片

同步的概念



假设两个节点的时间完全一致（即晶振完全相同，没有误差），信号经过T延时后到达节点B，此时节点B就以当前时刻为基准进行位定时，因为二者的时钟完全一致，因此，节点B的采样不会出现任何问题，即节点B总是能采样到A节点发出的总线电平。硬同步只发送在一个帧的起始。

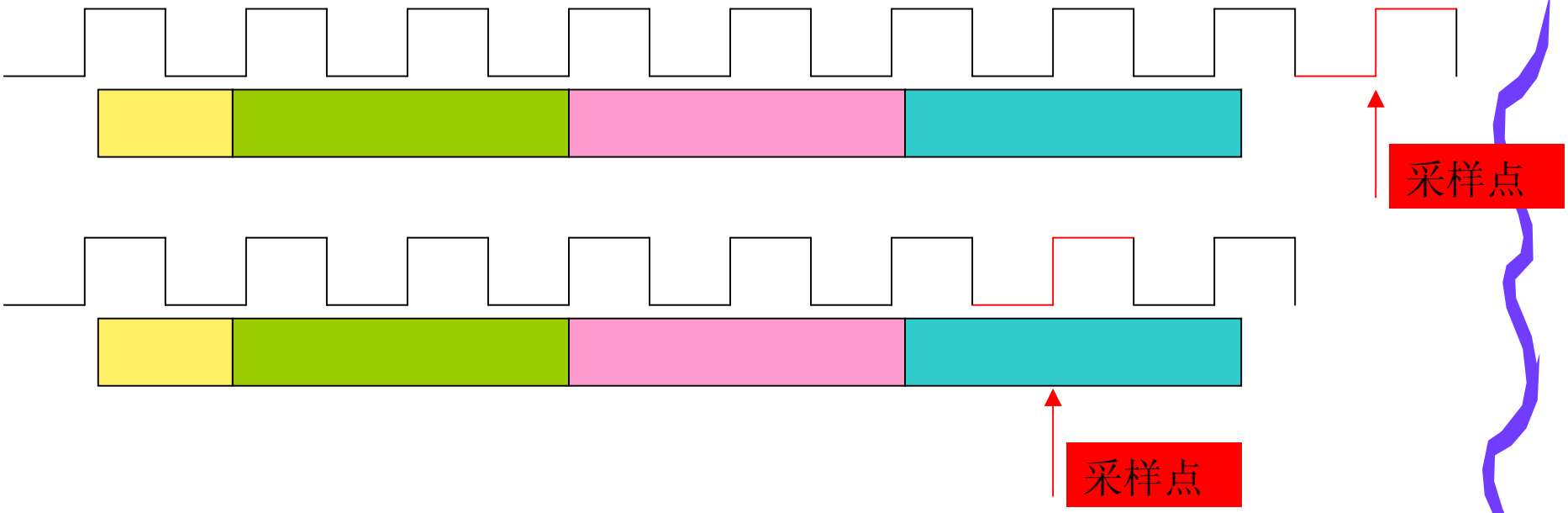
同步的概念



假设传输没有延时，但是节点A和节点B的晶振有误差，那么由上图可以看出，虽然硬同步已经实现，但是节点B的采样点却不能够采样到当前时刻的数据，而是上一时刻的数据，即节点B的时间跑的慢了。那么CAN总线控制器如何处理该问题呢？——通过重同步的机制实现。

同步的概念

CAN总线控制器通过在一帧数据的传输过程进行重同步保证一帧报文的顺利传输，重同步的本质为：增加或减少自己的位定时时间（如：增加1~2个时间片）来和总线上的其他节点同步。

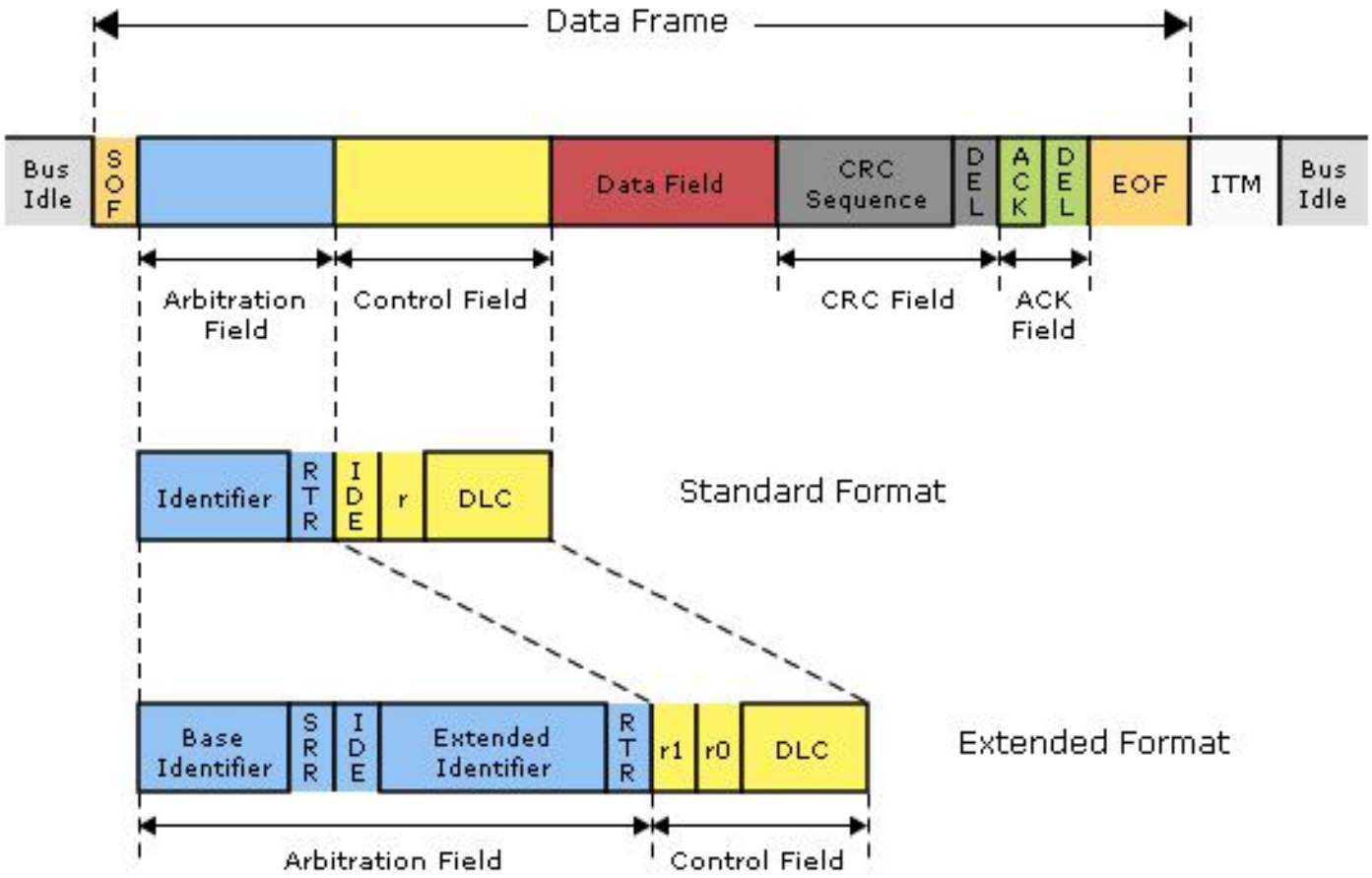


为了实现重同步，CAN总线控制器必须要通过位填充实现，即：如果CAN总线控制器发现报文里有5个连续相同的位，就会在第六位填充一位相反的数据位（该数据位只是为了总线安全才考虑的），同步发生在隐性电平（逻辑1）向显性电平（逻辑0）转换的跳变沿。

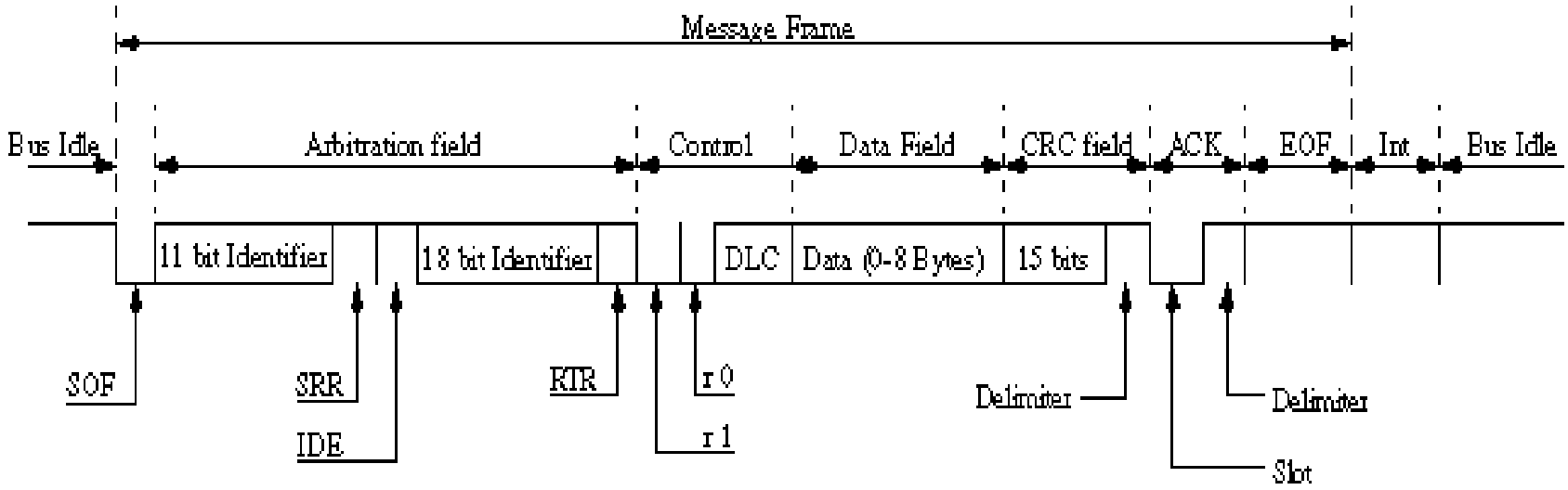
Can总线报文帧结构

CAN总线共有四种报文：1 数据帧　2 远程帧

3 错误帧　　4 过载帧



数据帧定义



帧起始：1bit。从图中看出，在帧间隙后由逻辑1（至少两个bit）向逻辑0的跳变就被认为是帧起始，它的作用就是为了硬同步。

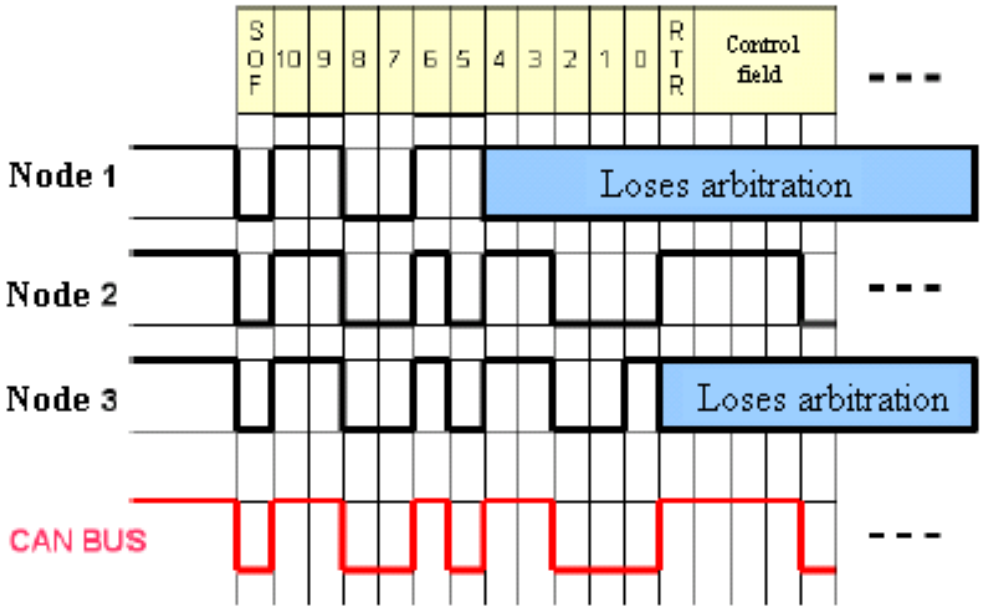
仲裁场：由29bit的ID标示符和IDE、SRR、RTR位构成。IDE位用于标示该帧是扩展帧（29bit ID）还是标准帧（11bit ID）；SRR在扩展帧中为一隐性位；RTR位为远程帧标志位。

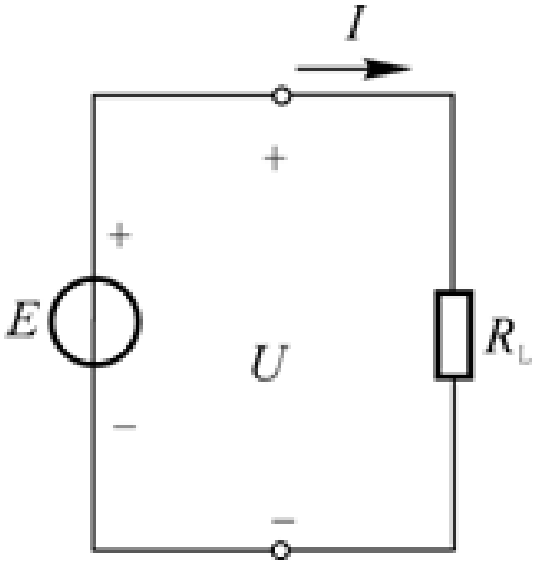
由上图可以看出，11bit的基本ID首先被发送（ID28~ID18），然后在发送18bit的扩展ID（ID17~ID0）

CAN总线的仲裁机制

要点 （1）首先发送ID的29位，优先级问题

（2）总线电平由谁决定



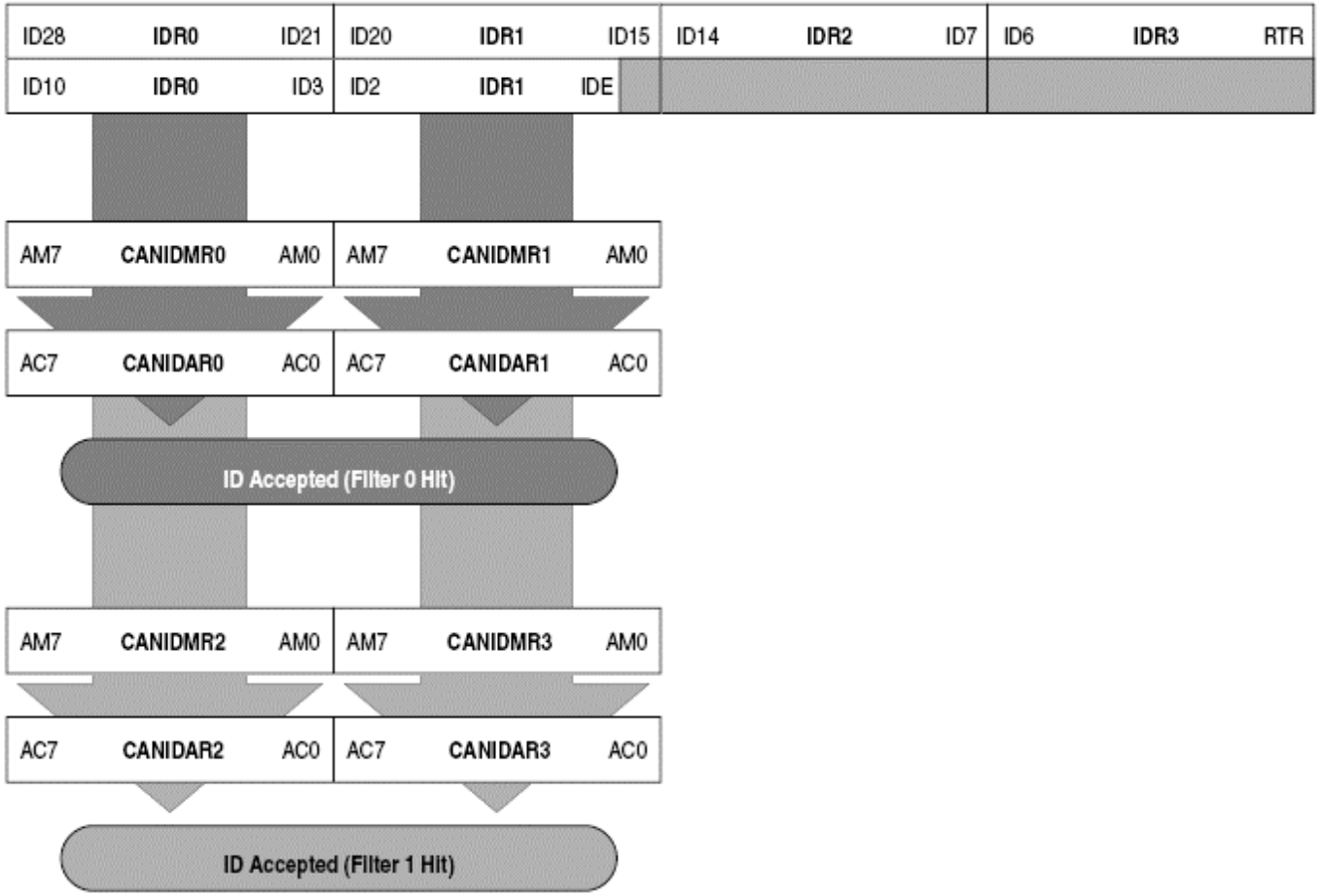


CAN总线总裁机制的实现也就实现了CAN总线的多主机模式，总线节点不存在谁主谁从的概念

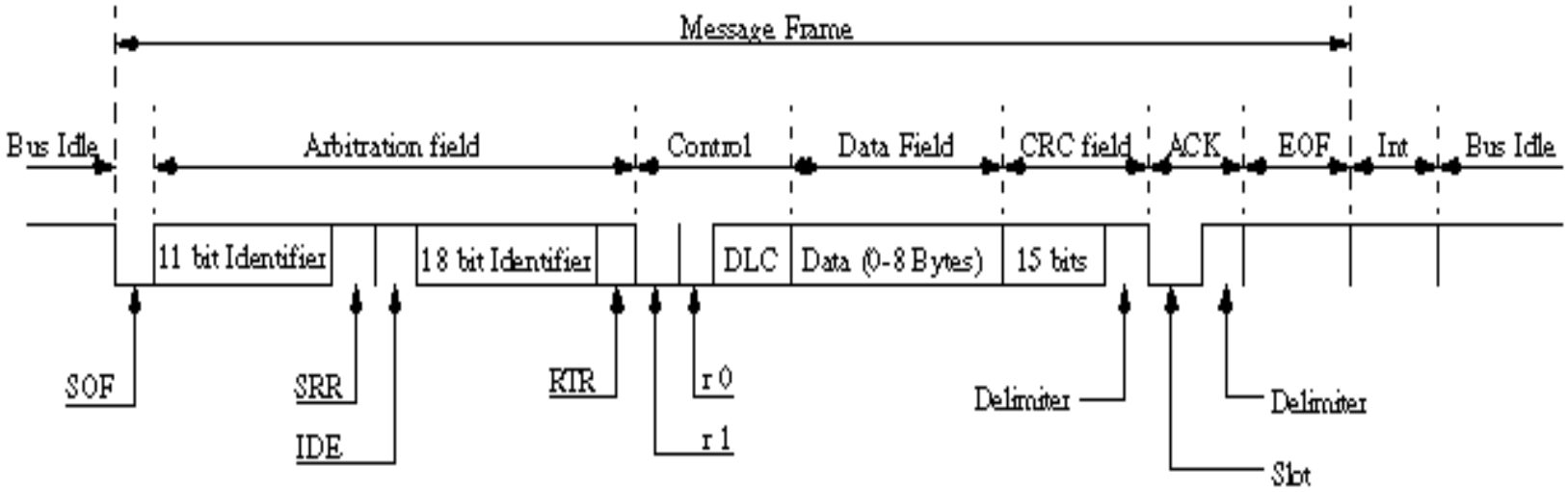
友情提示：我们可以人为的给29位的ID赋予一定的意义从而区分不同的报文类型！

报文滤波

报文滤波可以通过软件编程的方式实现，也可以通过硬件（芯片内部的报文滤波寄存器）实现，但二者实现的原理是相同的，如下图所示：



数据帧中的其他场作用



控制场：包括两位保留位（必须为0），和数据长度位（DLC0~DLC3）

数据场：包括最多8个字节的数据

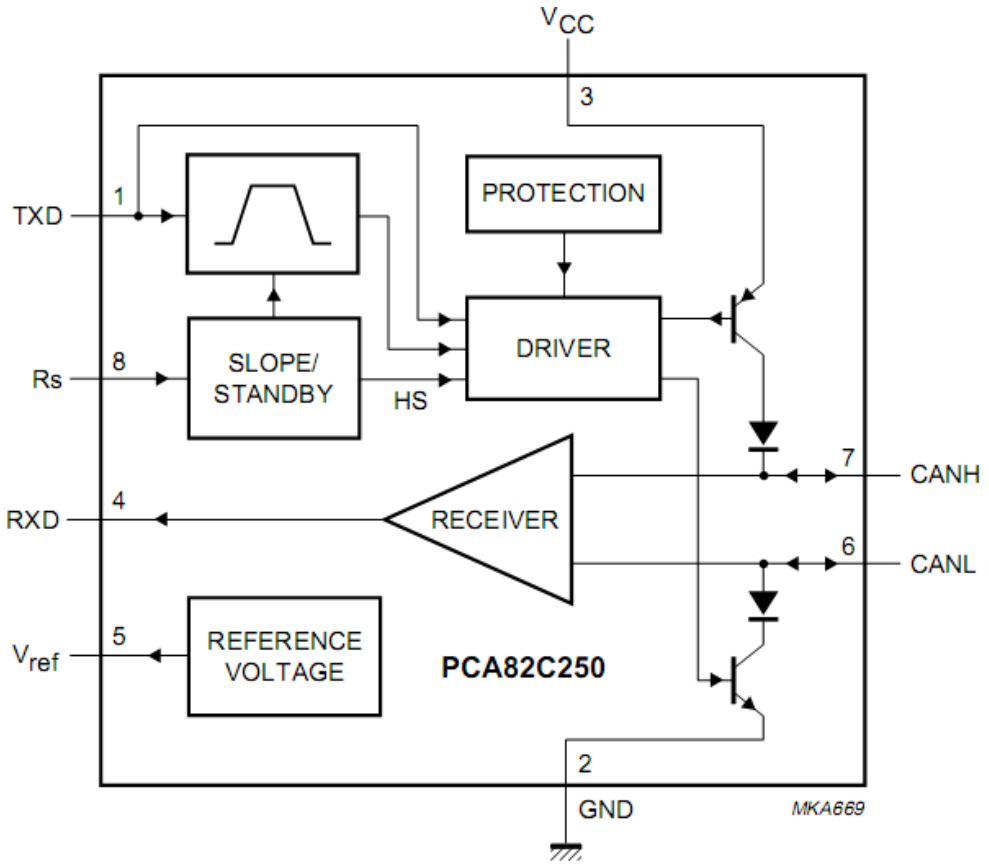
CRC场：是一种算法，对数据进行CRC校验，共15bit，其后跟了一位CRC界定符——为1（隐性电平）

应答场：为两个1（总线电平为低电平），其中一位为应答间隙，另一位为应答界定符。成功接收到数据的节点必须发送一位显性位（总线电平为高电平）来应答该发送节点，必须注意：该显性位必须在应答间隙期间，即1bit的时间内将总线电平拉高。

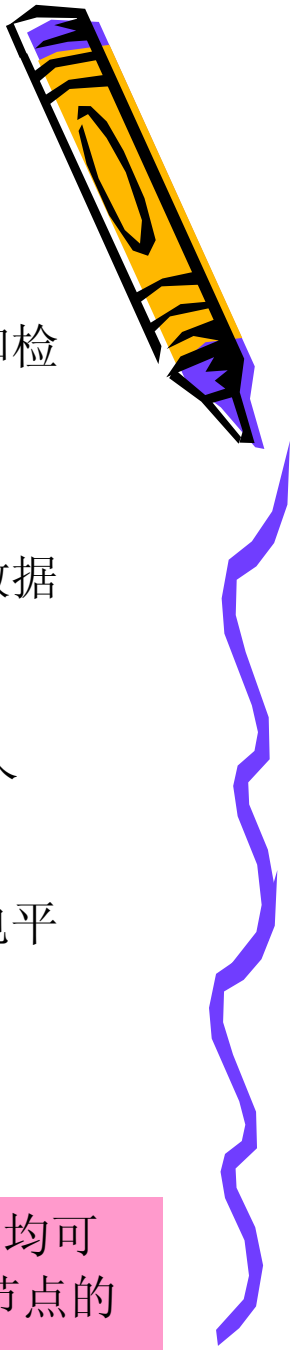
帧结尾：7个连续的1组成（隐性电平）

CAN总线的侦听机制—支持仲裁及错误检查

帧听就是发出去的数据再采样回来，比较采样回来的数据是否和发出的数据一致！



CAN总线错误检测



CAN总线通过如下几个方面进行错误检测

（1）当节点赢得总线发送权后，会对总线电平进行检测，当发送的电平和检测到的总线电平不一致时，认为错误

（2）出现6个连续相同的电平时，认为是填充错误

（3）CRC错误，接收数据的节点按照与发送数据的节点相同的方法计算数据的CRC校验值，如果接收节点的计算结果与数据包中CRC场的数据不一致，认为是CRC错误

（4）应答错误，在应答场如果没有监控到一个显性电平，那么就认定一个应答错误

（5）固定位错误，例如：CRC界定符等，其电平是固定的，当监控到该电平不相符时，认定一个错误

另：总线同步机制也是CAN总线容错的一种方式

注意：通过上面5种错误检测机制，发送节点和接收节点均可以检测到总线上的错误，并通过错误的累加来实现总线节点的关闭等操作

CAN总线负载率计算

计算例子：

假设CAN总线波特率为250Kbit/s，总线报文发送时间间隔为10ms，报文为数据帧（8个字节数据），那么10ms内总线能够支持的最大报文数量为多少？

第一步：根据通信波特率计算10ms总共可以发送多少bit

(250000/1000)*10 = 2500bit

第二步：计算最长的一帧报文有多少个bit

1sof + 29id + 1ide + 1rtr + 1srr + 2r + 4dlc + 8*8data

+ 16crc + 2ack + 7eof = 128bit

第三步：计算10ms内可以支持的报文数目

2500/128 ≈ 19

由上面的计算可知，当10ms间隔的报文数量超过19条时，就会出现丢帧，总线饱和。

计算报文数量也是设计CAN网络所要考虑的，可以查阅相关文献看负载率在多少时合适！

SAE J1939的组织架构

SAE J1939主要包括下面的协议文档

（1）SAE J1939-11 规定了J1939协议通信的物理层（CAN总线物理层）

（2）SAE J1939-21 规定了J1939协议的数据链路层

（3）SAE J1939-31 规定了J1939协议的网络层（设计网关ECU时遵守）

（4）SAE J1939-71 规定了J1939协议的整车应用层

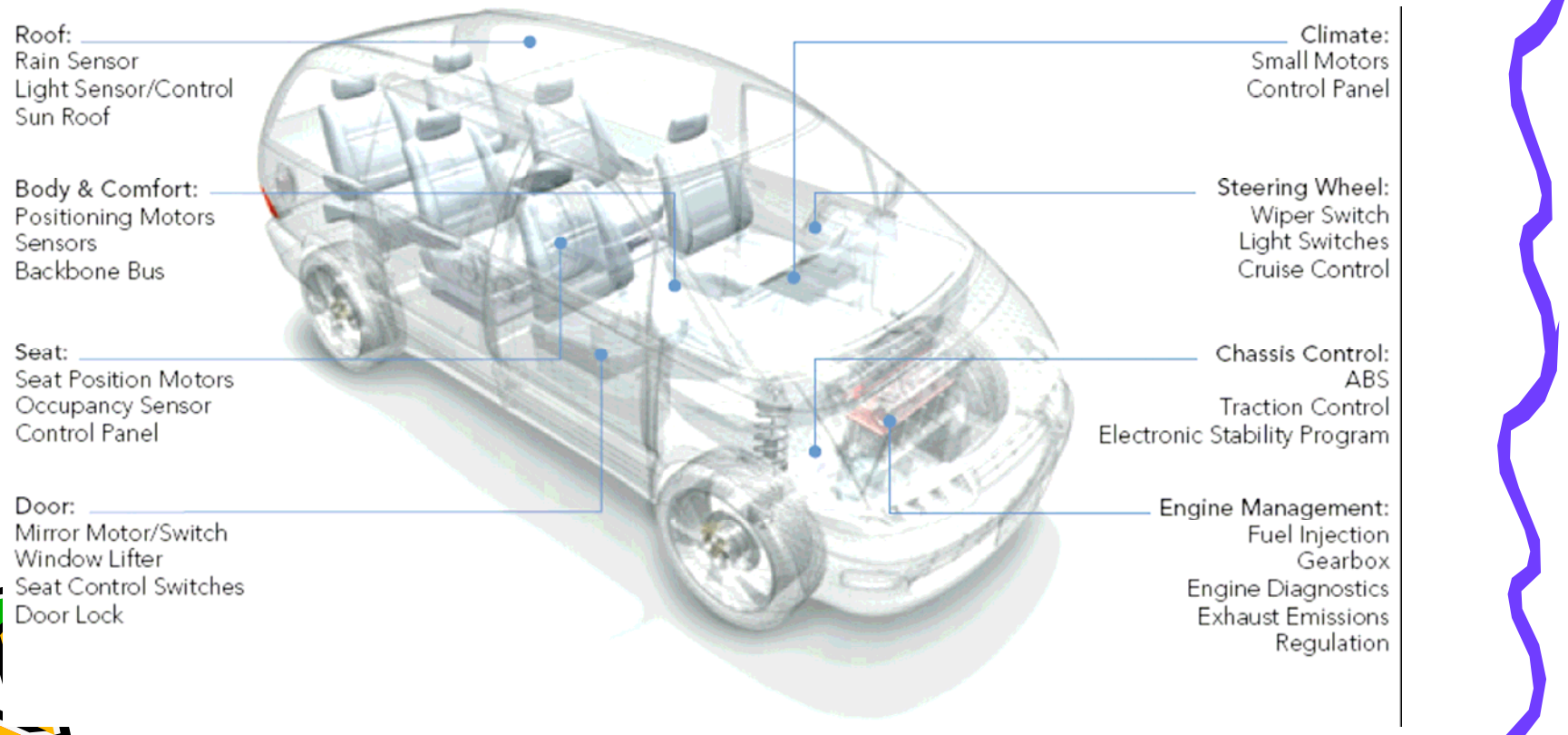
（5）SAE J1939-73规定了J1939协议的诊断层（诊断仪诊断协议）

实际上J1939协议是以CAN总线通信为数据传输的基础，并在此基础上建立的更高一层的通信协议。其中J1939-21介绍了如何将29Bit的ID进行划分定义，J1939-71更加具体的对整车信息进行分类定义。

SAE J1939-21

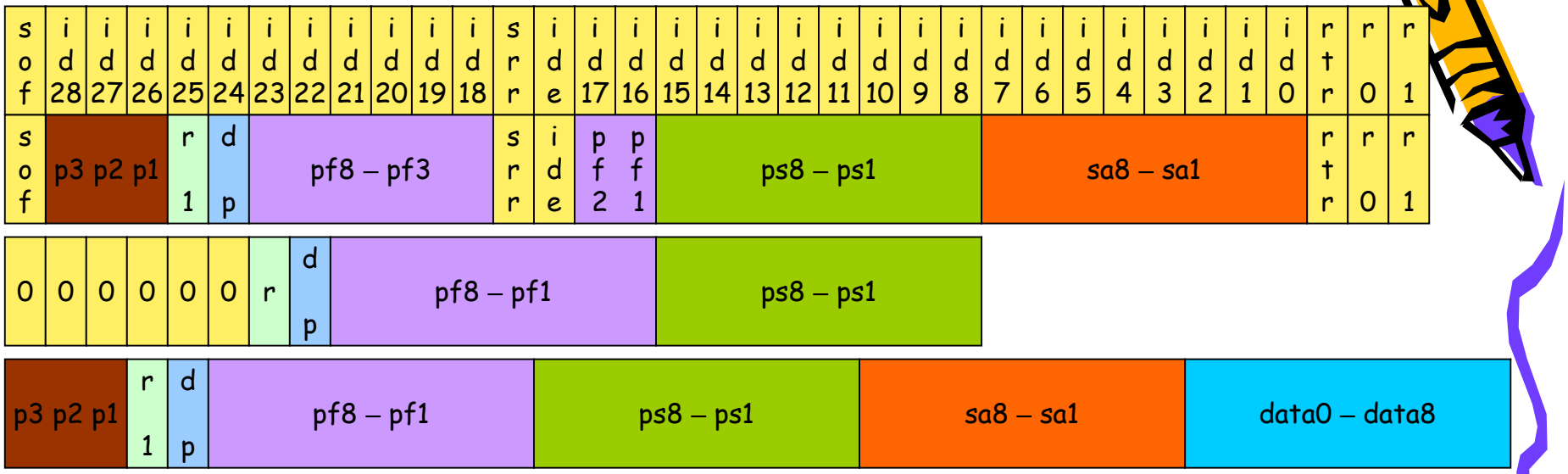
发动机、变速箱、ABS等系统包含了大量的消息，如何将这些整车消息进行分类，方便通信？

J1939-21/71的本质就是通过将29bit的ID赋予一定的含义，从而实现整车信息的分类管理。



J1939-21的ID分类方法

SAE J1939采用CAN2.0B扩展帧!



从上图可以看出，J1939将29bit的ID分成了6部分，理论上讲J1939可以表示 2^{29} 种消息类型，但它并没有这样使用29bit的ID对信息进行分类，而是采用了PGN的概念对整车信息进行分类管理

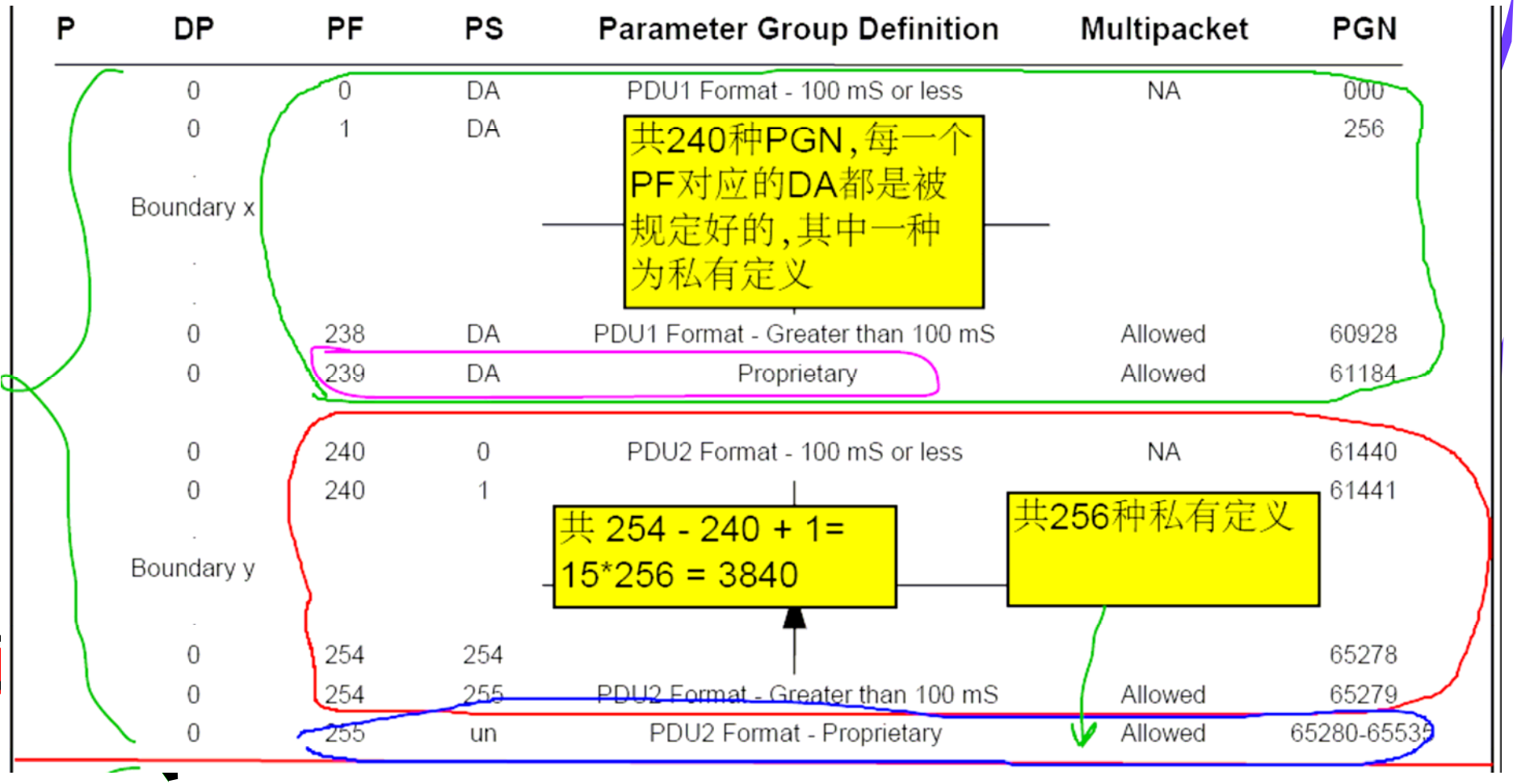
PGN（Parameter Group Number 参数组序号）定义：PGN由24bit的数构成，其中6bit为0， 一位保留位， 一位数据页位， 8为PDU Format位， 8位扩展数据位。

由PGN的名字就可以看出，SAE将整车的各种参数（如发动机转速、转矩）进行归类，每一类（含有多个参数）就用一个序号来表示，就形成了PGN —— 方便参数管理，通信

SAE J1939有多少PGN?

J1939 数据页0的PGN总数为 239（SAE）+ 1（MF）+ （254 – 240 + 1）*256（SAE）+ 256（MF）= 4336

也就是说，通过J1939协议，我们可以把整车信息分成4336*2个组，每一组都包含有至少1个整车参数



PGN优先级及PDU

由上图可以看出，PGN的PDU FORMAT首先发送，也就是说，PF越小，优先级越高。

因为PDU1格式的报文PF是从0~239，可以看出，它的优先级较高，因此，J1939将较小的PGN号分配给实时性要求较高，延时较小的报文。

其实PDU本质上就是一帧J1939报文，它包含了ID和数据。但J1939创建了两种格式的PDU（PDU FORMAT1和PDU FORMAT2），其原因就是为了：兼容更多的参数组，以便包含更多的参数，但同时还可以实现目标地址固定的通信方式（即某一参数组是发送到特定的ECU单元的）。

另外，为了保证私有参数组定义与SAE定义的参数组之间不相互冲突，J1939还定义了私有参数组，该参数组既有FORMAT1格式，也有FORMAT2格式

例子1

参数组名称	EEC1
ID	0x0CF00400
PGN	61444 (0x00F004)

发送节点	ECU
接收节点	*

发送方式	周期
更新速率	10ms
数据长度	8
P	3
DP	0
PF	0xF0
PS	0x04
SA	0
自定义	否
填充格式	Intel standard

Byte	Bit	参数名称
0	0-3	EngTrqMode
	4-7	保留
1	0-7	DriverDmdEngPercentTrq
2	0-7	ActualEngPercentTrq
3-4	0-7	EngSpd
5	0-3	保留
	4-7	保留
6	0-3	保留
	4-7	保留
7	4-7	保留

J1939将发动机转矩控制模式、驾驶员需求转矩、发动机实际输出转矩和发动机转速分成一组，组号（PGN）为61444

同时该PGN为PDU2格式，PS的意义为扩展参数组

参数组名称	TSC1
ID	0x0C000003
PGN	0 (0x000000)

发送节点	TCU
接收节点	ECU

发送方式	周期
更新速率	10ms
数据长度	8
P	3
DP	0
PF	0
PS	0
SA	0x03
自定义	否
填充格式	Motorola standard

Byte	Bit	参数名称
0	0-1	OverrideCtrlMode
	2-3	ReqSpdCtrlConditions
	4-5	OverrideCtrlModePriority
	6-7	保留
3	0-7	ReqTrqOrTrqLmt

该报文由变速箱TCU发送给发动机ECU，可以看出，它属于PDU1格式，并且ps为目的地址（0x00），优先级很高！当然其他设备也可以接收该报文，但是发动机必须处理该请求。

例子2

参数组名称	DisplayUint
ID	0x18FF0B17
PGN	65515 (0x00FF0B)

发送节点	仪表
接收节点	*

发送方式	周期
更新速率	1000ms
数据长度	8
P	6
DP	0
PF	0xFF
PS	0x0B
SA	0x17
自定义	是
填充格式	Motorola standard

Byte	Bit	参数名称
0	0-1	控制声音报警
	2-3	请求故障码
	4-5	预留功能
	0-7	保留

自定义，PDU2格式的报文

查找J1939协议中规定的报文

SAE J1939-71中规定了整车应用层中所有的报文内容，及报文中各个参数的意义，我们可以根据PGN号来查找报文，然后根据报文中的SPN号（SAE J1939同样给每一个整车参数分配了一个索引号）来查找与SPN相对应的参数的意义！

基于J1939-73的诊断协议

关于DTC

<table>
<tr><th colspan="32">DTC</th></tr>
<tr><td colspan="8">Byte 3
8 least significant bits of SPN
(bit 8 most significant)</td><td colspan="8">Byte 4
second byte of SPN
(bit 8 most significant)</td><td colspan="8">Byte 5
3 most significant bits of SPN and the FMI
(bit 8 SPN msb and bit 5 FMI msb)</td><td colspan="8">Byte 6</td></tr>
<tr><td colspan="24">SPN</td><td colspan="5">FMI</td><td>CM</td><td colspan="7">OC</td></tr>
<tr><td>8</td><td>7</td><td>6</td><td>5</td><td>4</td><td>3</td><td>2</td><td>1</td><td>8</td><td>7</td><td>6</td><td>5</td><td>4</td><td>3</td><td>2</td><td>1</td><td>8</td><td>7</td><td>6</td><td>5</td><td>4</td><td>3</td><td>2</td><td>1</td><td>8</td><td>7</td><td>6</td><td>5</td><td>4</td><td>3</td><td>2</td><td>1</td></tr>
<tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr>
</table>

SPN：故障的参数号，通过SPN查找故障码表，用来确定具体的故障类型

FMI：故障严重等级定义

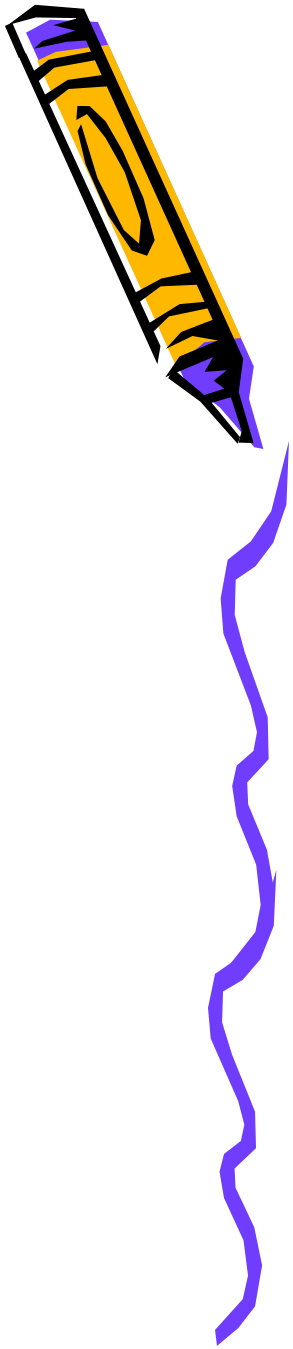
OC：该SPN故障发生的次数累计

CM：SPN组合方式

AMT系统故障举例

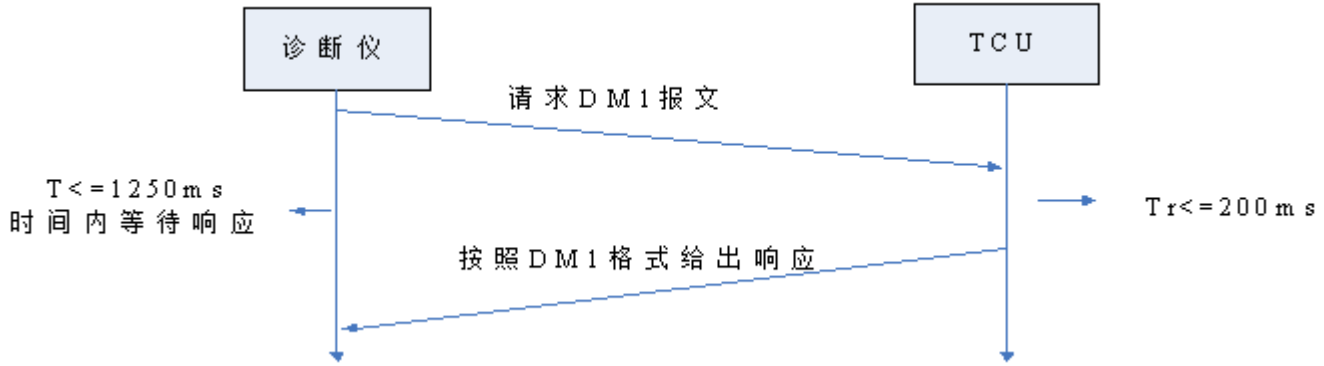
离合器位置传感器	Clutch Position Sensor	33	Clutch Cylinder Position	4	信号低	Sensor Circuit Low
				3	信号高	Sensor Circuit High
离合器滑摩	Clutch Slip	522	Percent Clutch Slip	11	故障	Fault
离合器总电磁阀	Clutch Main Solenoid	521792	Manufacturer Assignable SPN	3	对电短路	Short To Battery
				4	对地短路	Short To GND
				5	断路	Open
离合器排气阀	Clutch Exhaust Solenoid	521793	Manufacturer Assignable SPN	3	对电短路	Short To Battery
				4	对地短路	Short To GND
				5	断路	Open
离合器进气阀	Clutch Intake Solenoid Short	521794	Manufacturer Assignable SPN	3	对电短路	Short To Battery
				4	对地短路	Short To GND
				5	断路	Open

J1939-73中定义的FMI



- FMI=0——数据有效但是高于正常工作范围——最严重等级
- FMI=1——数据有效但是低于正常工作范围——最严重等级
- FMI=2——数据不稳定、间断、或不正确
- FMI=3——高于正常电压，或对高源短路
- FMI=4——低于正常电压，或对低源短路
- FMI=5——低于正常电流，或开路
- FMI=6——高于正常电流，或对地短路
- FMI=7——机械系统无响应，或在调整范围之外
- FMI=8——异常频率、脉宽或周期
- FMI=9——异常更新率
- FMI=10——异常改变速率
- FMI=11——导致故障的根源未知
- FMI=12——智能设备或部件损坏
- FMI=13——标定超出范围
- FMI=14——特殊指令
- FMI=15——数据有效但是高于正常工作范围——不严重级
- FMI=16——数据有效但是高于正常工作范围——中等严重级
- FMI=17——数据有效但是低于正常工作范围——不严重级
- FMI=18——数据有效但是低于正常工作范围——中等严重级
- FMI=19——接收的网络数据错误
- FMI=20～30——保留由SAE分配
- FMI=31——无效或条件存在

诊断仪的诊断流程



ID						DATA		
0x18EA03F9						1字节	2字节	3字节
P	R	DP	PF	PS	SA	CA	FE	00
6	0	0	EA	03	F9			

诊断仪向TCU发送请求DM1的报文，可以看出，诊断仪发送的PGN为0x00EA03（PF为EA，PS为03目的地址），通过J1939-21知道，该PGN为一个请求PGN，它所请求的PGN号为FECA（DM1）

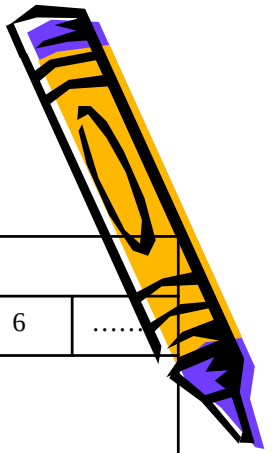
注：DM1报文也可以实时的向外发送

J1939-21中定义的请求PGN的报文格式

ID						DATA		
0x18EA03F9						1字节	2字节	3字节
P	R	DP	PF	PS	SA	CA	FE	00
6	0	0	EA	03	F9			

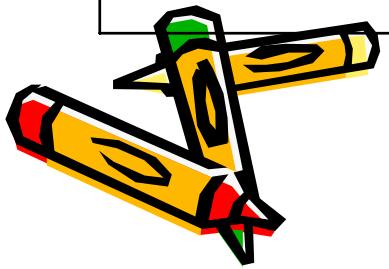
Parameter Group Name:	**Request**
Definition:	Used to request a Parameter Group from a network device or devices.
Transmission repetition rate:	Per user requirements, generally recommended that requests occur no more than 2 or 3 times per second.
Data length:	3 bytes (The CAN frame for this PG shall set the DLC to 3.)
Data page:	0
PDU Format:	234
PDU specific field:	Destination Address (global or specific)
Default priority:	6
Parameter Group Number:	59904 ($00EA00_{16}$)
Byte: 1,2,3	Parameter Group Number being requested (see Section 5.1.2 for field definition and byte order)

TCU响应诊断仪的请求



ID						DATA						
0x18FECA03						1	2	3	4	5	6	……
P	R	DP	PF	PS	SA	数据段						
6	0	0	FE	CA	03							

字节 1	8－7位	故障指示灯状态：00-灯灭01-灯亮
	6－5位	红色停止灯状态：00-灯灭01-灯亮
	4－3位	琥珀色警告灯状态：00-灯灭01-灯亮
	2－1位	保护灯状态：00-灯灭01-灯亮
字节 2		FF
字节 3	8－1位	SPN，SPN最低有效字节8位（第8位为最高有效位）
字节 4	8－1位	SPN，SPN第二字节（第8位为最高有效位）
字节 5	8－6位	SPN，最高有效字节的3位（第8位为最高有效位）
	5－1位	FMI（第5位最高有效位）
字节 6	8位	SPN转换方式：0
	7－1位	事件计数：从历史故障到当前故障变化的次数(如果没有事件计数，则该字节为FF)



请大家指正！