



中华人民共和国国家标准

GB/T 43671—2024

空间数据与信息传输系统 航天器 CAN 总线通信协议

Space data and information transfer systems—
CAN data bus communication protocol on spacecraft

2024-03-15 发布

2024-07-01 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会 发布

目 次

前言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 缩略语	2
5 总则	2
5.1 协议栈	2
5.2 总线拓扑结构	3
6 物理层协议	3
6.1 电特性参数	3
6.2 位定时要求	4
6.3 码速率	5
6.4 总线电缆	5
6.5 联接方式	6
6.6 插座接点分配	6
6.7 终端电阻	7
7 数据链路层协议	7
7.1 功能	7
7.2 帧格式	7
8 总线通信过程与协议	8
8.1 通则	8
8.2 总线通信过程	9
8.3 标准帧格式协议	10
8.4 扩展帧格式协议	13
9 可靠性设计要求	17
9.1 拓扑结构	17
9.2 抗干扰及恢复措施	18
9.3 双冗余总线选用与切换	18
10 管理信息库	19
附录 A (资料性) 节点地址分配及数据过滤示例	20

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由全国宇航技术及其应用标准化技术委员会(SAC/TC 425)提出并归口。

本文件起草单位：航天东方红卫星有限公司、北京空间飞行器总体设计部、西安空间无线电技术研究所、中国航天标准化研究所、玉环天润航空机械制造有限公司、国网思极位置服务有限公司、浙江汇隆晶片技术有限公司。

本文件主要起草人：闫国瑞、李军予、李志刚、宁金枝、何熊文、苏晨光、韩延东、史简、王啟宁、张红军、熊浩伦、田帅虎、李国军、李晓、刘小宁、张建华、董振辉、齐征、王建、周玉霞、袁媛、陈进宏、赵建伟、叶国萍。

空间数据与信息传输系统 航天器 CAN 总线通信协议

1 范围

本文件描述了航天器上应用 CAN 总线通信的拓扑结构、物理层协议、数据链路层协议、总线通信过程与协议、可靠性设计要求及管理信息库。

本文件适用于航天器上采用 CAN 总线通信的相关设备和系统的研制,地面 CAN 总线参照使用。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中,注日期的引用文件,仅该日期对应的版本适用于本文件;不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GB/T 5271.9 信息技术 词汇 第9部分:数据通信

GB/T 42041 航天术语 空间数据与信息传输

3 术语和定义

GB/T 5271.9、GB/T 42041 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

节点 **node**

连接到通信网络,依据通信协议能够通过网络进行通信的装置。

3.2

主节点 **master node**

在通信过程中用于控制和管理其他节点的节点。

3.3

从节点 **slave node**

在通信过程中受主节点控制的节点。

3.4

轮询 **polling**

逐个征询各从节点是否要发送数据的过程。

3.5

选择 **selecting**

要求一个或多个节点接收数据的过程。

3.6

显性 **dominant**

表征 CAN 总线通信中逻辑 0 状态。

3.7

隐性 recessive

表征 CAN 总线通信中逻辑 1 状态,可被显性改写。

4 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

CAN:控制器局域网(Controller Area Network)

CRC:循环冗余校验(Cyclic Redundancy Check)

DLC:数据长度码(Data Length Code)

IDE:标识符扩展(Identifier Extension)

OSI:开放式系统互联(Open System Interconnect)

RTR:远程传输请求(Remote Transmission Request)

SJW:同步跳转宽度(Synchronization Jump Width)

5 总则

5.1 协议栈

CAN 总线网络为局域网,只包含一个网段,就控制器局域网本身而言,与 OSI 的 7 层协议栈相比,CAN 总线网络包括物理层、数据链路层和应用层等 3 层协议。本文件规定的 CAN 总线通信协议与 OSI 协议分层对应关系如图 1 所示。


OSI 协议分层	CAN 协议分层	对应功能	协议对应关系	
应用层	应用层 	用户信息交换协议	任务协议	
表示层				
会话层				
传输层				
网络层				
数据链路层	数据链路层	逻辑链路控制子层 (LLC)	接收滤波、过载通报、恢复管理	本协议
		介质访问控制子层 (MAC)	数据封装、数据拆封、帧编码、错误检测、错误指令、应答、串行化、解串行化	
物理层	物理层	物理编码子层 (PCS)	比特编码、比特解码、位定时与同步	
		物理介质连接子层 (PMA)	驱动器电特性	

图 1 CAN 总线通信协议与 OSI 协议分层的对应关系

5.2 总线拓扑结构

在空间数据与信息传输系统中,航天器内部采用 CAN 总线将多台计算机连接起来,形成星载网络。航天器 CAN 总线推荐采用双冗余的总线型拓扑结构,包括 A、B 两条 CAN 总线。CAN 总线拓扑结构如图 2 所示,主节点和从节点的分配通过软件定义。

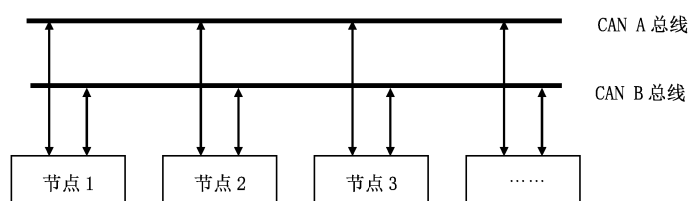


图 2 CAN 总线拓扑结构

6 物理层协议

6.1 电特性参数

CAN 节点的隐性状态电特性参数见表 1,显性状态电特性参数见表 2。

表 1 隐性状态电特性参数

参数名称	符号	参数要求			条件
		最小值	标称值	最大值	
总线输出电压	V_{CAN-H}	2.0 V	2.5 V	3.0 V	无负载
	V_{CAN-L}	2.0 V	2.5 V	3.0 V	无负载
总线差分输出电压	$V_{diff-out}$	-500 mV	0 mV	50 mV	无负载
总线差分输入电压 ^a	$V_{diff-in}$	-1.0 V	—	0.5 V	—

^a 接收隐性位的阈值。

表 2 显性状态电特性参数

参数名称	符号	参数要求			条件 ^b
		最小值	标称值	最大值	
总线输出电压	V_{CAN-H}	2.75 V	3.5 V	4.5 V	负载 $R_L/2$
	V_{CAN-L}	0.5 V	1.5 V	2.25 V	负载 $R_L/2$
总线差分输出电压	$V_{diff-out}$	1.5 V	2 V	3.0 V	负载 $R_L/2$
总线差分输入电压 ^a	$V_{diff-in}$	0.9 V	—	5.0 V	—

^a 接收显性位的阈值。
^b R_L 为终端电阻。

6.2 位定时要求

6.2.1 位时间结构

标称位时间是在非重同步情况下发送一位的时间,是标称位速率的倒数。一个标称位时间结构如图 3 所示。

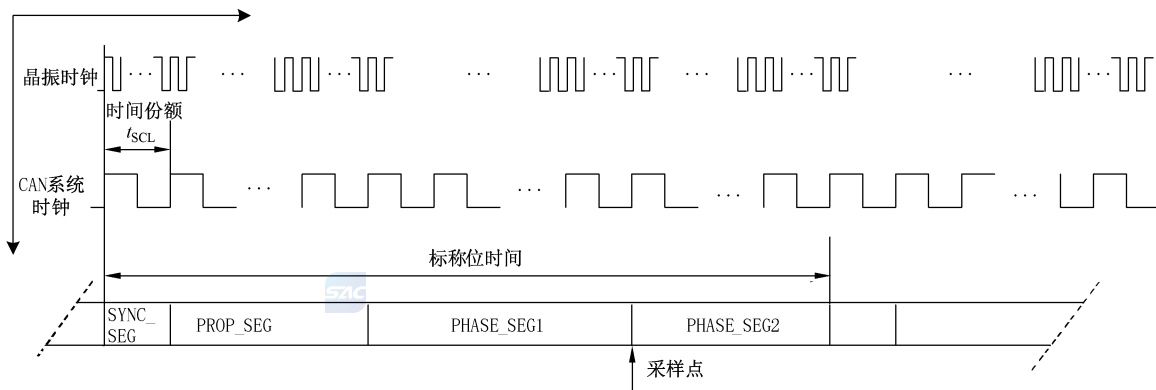


图 3 标称位时间结构

标称位时间划分为以下 4 个互不重叠的时间段：

- 同步段(SYNC_SEG):用于同步总线上不同的节点,一个位的跳变沿在此时间段内;
- 传播段(PROP_SEG):用于补偿网络内的物理延时,延时包括总线上的信号传输时间和 CAN 节点内部延时;
- 相位缓冲段 1(PHASE_SEG1):用于补偿跳变沿相位误差,可通过重同步加长实现;
- 相位缓冲段 2(PHASE_SEG2):用于补偿跳变沿相位误差,可通过重同步缩短实现。

采样点是读取并解析总线上各位值的时间点,位于相位缓冲段 1 末端。

6.2.2 位时间编程

位时间的编程取决于下列参数。

- 时间份额(t_{SCL}),由晶振周期和可编程分频器确定的固定时间单元,如图 3 所示。该分频器的数值范围为 1~32 之间的整数。
- 位时间的标称长度(在非同步情况下):
 - 同步段的长度为 1 个时间份额;
 - 传播段的长度可编程为 1 个~8 个时间份额;
 - 相位缓冲段 1 的长度可编程为 1 个~8 个时间份额;
 - 相位缓冲段 2 取相位缓冲段 1 和信息处理时间的较大值,其中信息处理时间是以采样点开始,为计算下一个位电平所预留的时间段,信息处理时间小于或等于两个时间份额。
- 位时间结构中传播段、相位缓冲段 1 和相位缓冲段 2 的长度可编程,一个位时间的的时间份额(t_{SCL})总数可在 8~25 之间编程设定。

6.2.3 重同步

重同步用于修正采样点的位置,重同步的结果会引起相位缓冲段 1 加长或相位缓冲段 2 缩短。SJW 决定了相位缓冲段加长或缩短的上限值。

SJW 为可编程值,在 1~minimum{PHASE_SEG1,4}之间取值。

6.2.4 晶振频率的容差

晶振频率 f_{osc} 应满足公式(1):

$$(1 - d_f) \cdot f_{nom} \leq f_{osc} \leq (1 + d_f) \cdot f_{nom} \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中:

f_{osc} —— 晶振频率,单位为兆赫(MHz);

f_{nom} —— 晶振标称频率,单位为兆赫(MHz);

d_f —— f_{osc} 的最大容差。

最大容差 d_f 与相位缓冲段 1、相位缓冲段 2、SJW 时间和位时间相互关系见公式(2)和公式(3):

$$d_f \leq \frac{\min(t_{PHASE_SEG1}, t_{PHASE_SEG2})}{2 \times (13 \times t_{bit} - t_{PHASE_SEG2})} \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$d_f \leq \frac{t_{SJW}}{2 \times 10 \times t_{bit}} \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中:

d_f —— f_{osc} 的最大容差;

t_{PHASE_SEG1} —— 相位缓冲段 1 的时间,单位为微秒(μs);

t_{PHASE_SEG2} —— 相位缓冲段 2 的时间,单位为微秒(μs);

$\min(t_{PHASE_SEG1}, t_{PHASE_SEG2})$ —— 相位缓冲段 1 和相位缓冲段 2 两者较短的时间,单位为微秒(μs);

t_{bit} —— 位时间,单位为微秒(μs);

t_{SJW} —— SJW 的时间,单位为微秒(μs)。

CAN 总线控制器采用的晶振频率容差应满足公式(2)和公式(3)的要求,航天器 CAN 总线控制器采用的晶振频率容差一般不大于 0.1%。

6.3 码速率

高速 CAN 总线支持码速率范围为 125 kbps~1 Mbps,推荐选用码速率如下:

- a) 500 kbps(总线长度 \leq 130 m);
- b) 1 Mbps(总线长度 \leq 40 m)。

6.4 总线电缆

总线电缆采用双绞线,其物理参数见表 3。

表 3 CAN 总线电缆物理参数

参数名称	参数值		
	最小值	标称值	最大值
阻抗/ Ω	95	120	140
单位长度电阻 ^a /($m\Omega/m$)	—	70	—
规定线延迟 ^b /(ns/m)	—	5	—

^a 接收节点的差分电压宜考虑发送节点与其之间导线电阻的影响。
^b 总线延时宜考虑收发器延时和电缆传输延时,即 PROP_SEG 大于 2 倍总线延时。

6.5 联接方式

每个通信节点的 CAN 总线驱动器 CAN-L 和 CAN-H 分别与总线的 CAN-L 和 CAN-H 联接。终端电阻 R_L 标称值为 $120\ \Omega$ 。CAN 总线接口联接方式如图 4 所示。

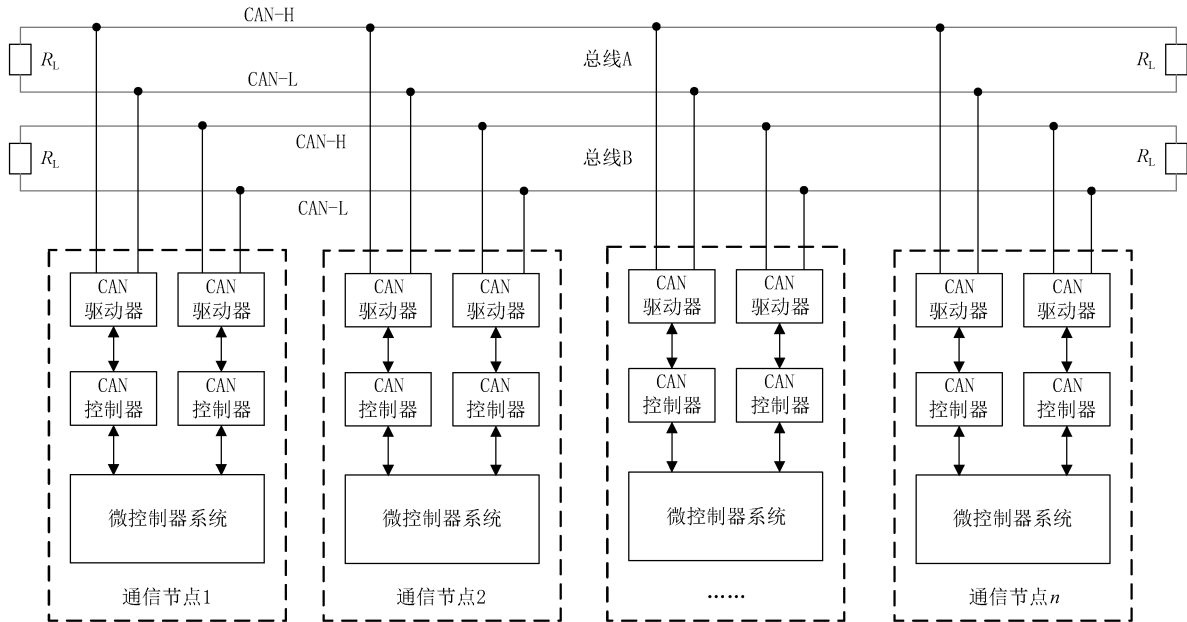


图 4 CAN 总线接口联接方式

每台设备的通信接口采用一入一出 2 个插座,并在设备内部将 2 个插座的对应接点一一联接,设备内部联接电缆长度尽量短。设备外部通过双绞电缆网把各接点一一对应联接,终端电阻设置在电缆线的两端。CAN 总线级联方式如图 5 所示。

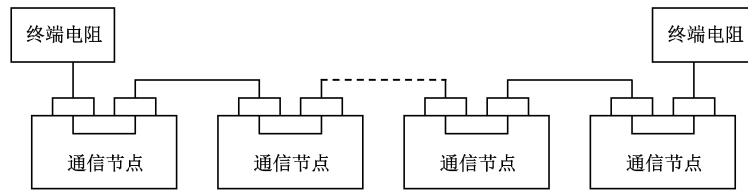


图 5 CAN 总线物理级联方式

6.6 插座接点分配

每个通信节点推荐选用 2 个 J14A-9ZJ 插座用于 CAN 总线通信。为提高可靠性,推荐采用双点双线,总线插座接点推荐分配见表 4。



表 4 总线插座接点分配

信号名称	接点号 ^a	点数
CAN 总线 A 正(A-CAN-H)	1 点、2 点	2
CAN 总线 B 正(B-CAN-H)	3 点、4 点	2
CAN 总线 A 负(A-CAN-L)	5 点、6 点	2
CAN 总线 B 负(B-CAN-L)	7 点、8 点	2
地(GND, 可选)	9 点	1
^a 双绞线应按 1 点与 5 点、2 点与 6 点、3 点与 7 点、4 点与 8 点进行双绞。		

6.7 终端电阻

终端电阻物理参数见表 5。推荐终端电阻选用 2 个 J14A-9TK 终端插头,每个插头内部分别在 A、B 总线对应的 CAN-H 和 CAN-L 接点之间焊接终端电阻。

表 5 终端电阻物理参数

单位为欧姆

参数名称	符号	参数值		
		最小值	标称值	最大值
终端电阻 ^a	R_L	110	120	130
^a 受到拓扑结构、码速率和斜率的影响,终端电阻可偏离 120 Ω 。				

7 数据链路层协议

7.1 功能

数据链路层分为逻辑链路控制子层与介质访问控制子层 2 部分,逻辑链路控制子层完成帧接收过滤、过载通知、恢复管理。介质访问控制子层完成发送数据封装、接收数据解封、介质访问管理、帧编码(位填充/去填充)、错误检测与标识等。

7.2 帧格式

CAN 总线帧类型包括数据帧、远程帧等。数据帧由 7 个不同的位域组成:帧起始(SOF)、仲裁域、控制域、数据域、CRC 域、应答域、帧结束(EOF)。远程帧无数据域,由 6 个不同位域构成:帧起始(SOF)、仲裁域、控制域、CRC 域、应答域、帧结束(EOF)。

CAN 总线通信支持标准帧和扩展帧 2 种帧格式,标准帧格式如图 6 所示,扩展帧格式如图 7 所示,具体的帧格式说明如下。

- a) 帧起始:标志数据帧和远程帧的起始,由一个单独的显性位组成。
- b) 仲裁域:由标识符和 RTR 组成:
 - 1) 标准帧具有 11 位标识符 ID.10~ID.0,扩展帧具有 29 位标识符 ID.28~ID.0;
 - 2) RTR 位在数据帧中为“显性”,即 RTR=0;在远程帧中为“隐性”,即 RTR=1;
 - 3) 仲裁域决定了数据帧传输的优先级,较高优先级的标识符具有较低的二进制值。

- c) 控制域:由 6 位组成,包括 2 位 RB1、RB0 和 4 位 DLC,在标准帧中 RB1 为 IDE,RB0 为保留位,在扩展帧中 RB1、RB0 为保留位;DLC3~DLC0 指示数据域的字节数为 0~8。
- d) 数据域:包括 0 个字节~8 个字节。
- e) CRC 域:包括帧起始、仲裁域、控制域、数据域(如果有)的 CRC,生成多项式为 $X^{15} + X^{14} + X^{10} + X^8 + X^7 + X^4 + X^3 + 1$ 。
- f) 应答域:发送节点在应答域中,送出 2 个隐性位,所有收到匹配 CRC 的节点,以显性位改写发送器的隐性位以示应答。
- g) 帧结束:每个数据帧和远程帧均由 7 个隐性位构成的标志系列界定。

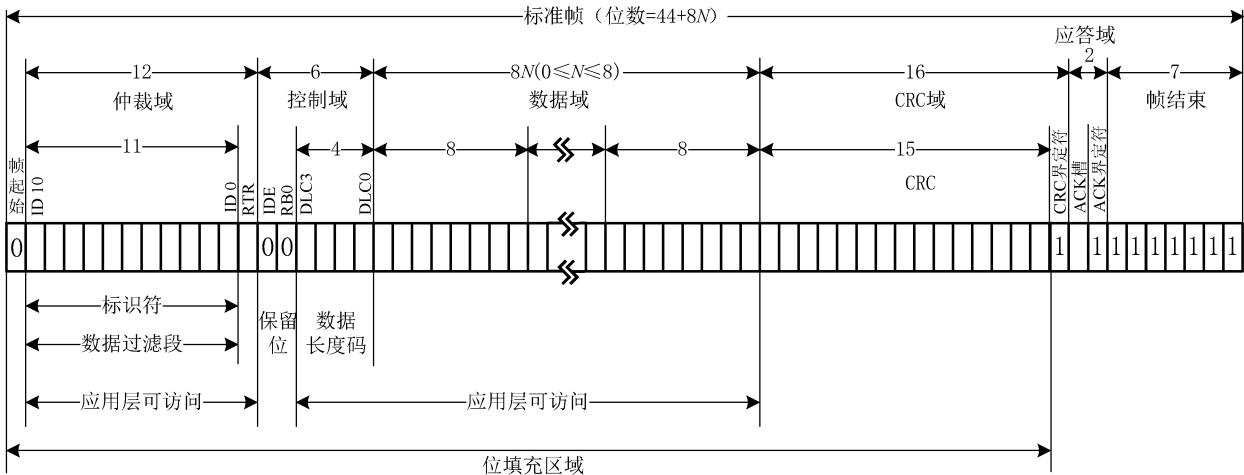


图 6 标准帧格式

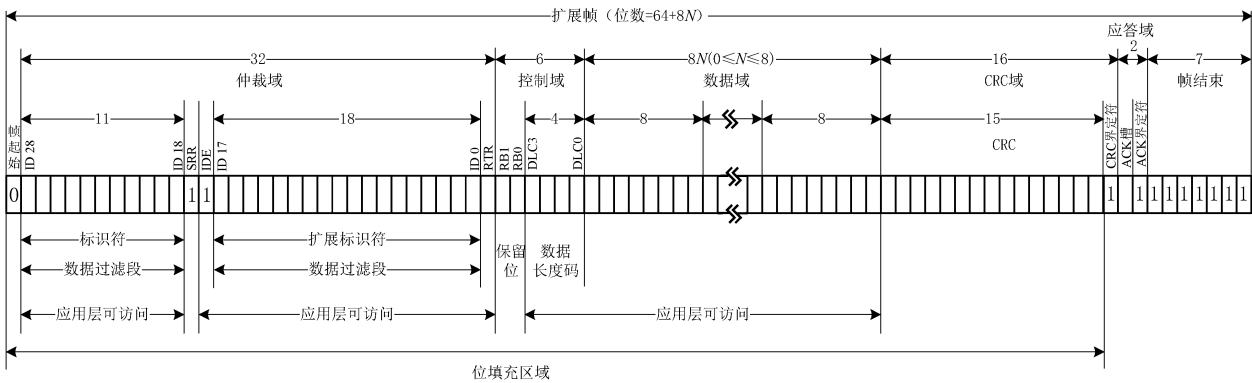


图 7 扩展帧格式

8 总线通信过程与协议

8.1 通则

为了便于控制和简化各通信节点数据的传送规则,总线通信过程推荐采用主从与有限多主相结合的通信方式,对于实时性较低的数据如遥测参数的采集、从节点的广播以及上行指令数据的注入等采用主从方式,其通信由主节点控制,采用轮询应答过程或选择应答过程。对于实时性高的数据如高精度秒脉冲时间广播或其他不便于主节点控制的通信,采用有限多主方式,即从节点可不受主节点控制自行完成该类数据发送。

总线通信协议应满足航天器信息数据包交互需求：

- a) 信息数据包总长度小于或等于 8 个字节时,按单帧方式在 CAN 总线网络上传送；
- b) 信息数据包总长度大于 8 个字节时,分成几个 CAN 总线数据帧按多帧方式在网络上传送,并按数据帧顺序发送至 CAN 总线网络；
- c) 对于由多个字节组成的数据,均按高字节在前、低字节在后发送。

信息数据包可为空间包、封装包或其他进一步封装的数据结构,信息数据包一般包括含长度、校验信息,用于信息数据包完整性及正确性校验。

信息数据包的交互基于轮询—应答过程、选择—应答过程、选择过程、广播过程、组播过程。根据航天器通信需求,航天器 CAN 总线通信协议要素一般包括优先级、节点地址、帧序号标志、帧序号、功能码等。

本文件推荐 2 种适用于信息数据包传输的 CAN 总线数据帧结构,包括标准帧格式协议和扩展帧格式协议,相对于标准帧,基于扩展帧的信息数据包传输协议支持更复杂的航天器信息流设计,实际应用中标准帧或扩展帧一般不混用,只选用其中一个。

8.2 总线通信过程

8.2.1 轮询—应答过程

主节点采用轮询应答过程获取从节点数据。主节点发送轮询控制序列,被选择的从节点收到后,向主节点发送信息数据包。主节点接收数据校验正确后,本次轮询应答过程结束。

8.2.2 选择—应答过程

主节点采用选择应答过程向从节点传送数据且从节点需要应答。主节点向从节点发送信息数据包,被选择的从节点接收数据并校验正确后发送应答控制序列,主节点收到应答控制序列后,本次选择应答过程结束。

8.2.3 选择过程

主节点采用选择过程向从节点传送数据,从节点不需要应答。主节点向从节点发送信息数据包,被选择的从节点不需要发送应答控制序列。

8.2.4 广播过程

对于主从广播方式,若发送广播节点为主节点,则主节点发送广播数据,其他所有通信节点均可接收,收到数据后不做应答。若发送广播节点为从节点,则主节点首先发送轮询控制序列,被选择的从节点收到后,向总线发送广播数据,其他所有通信节点均可接收,收到数据后不做应答。

对于多主广播方式,广播节点发送广播数据,其他所有通信节点均可接收,收到数据后不做应答。

8.2.5 组播过程

对于主从组播方式,若发送组播节点为主节点,则主节点发送组播数据,通过设置验收码、屏蔽码等数据过滤方式,部分通信节点可接收,收到数据后不做应答。若发送组播节点为从节点,主节点首先发送轮询控制序列,被选择的从节点收到后,向总线发送组播数据,通过数据过滤设置,部分通信节点可接收,收到数据后不做应答。

对于多主组播方式,组播节点发送组播数据,通过数据过滤设置,部分通信节点可接收,收到数据后不做应答。

8.3 标准帧格式协议

8.3.1 帧标识符

8.3.1.1 帧标识符组成

标准帧标识符由长度为 11 bit 的 ID.10~ID.0 组成,如图 8 所示,包括数据优先级、节点地址及数据帧类型 3 部分。



图 8 标准帧标识符的组成

8.3.1.2 数据优先级

数据优先级由 ID.10~ID.9 组成,和节点地址一起决定了数据总线仲裁的优先级,根据实时性要求,不同数据包选择不同的优先级,数值越小,优先级越高。

在一次发送数据包过程中数据优先级不变。

8.3.1.3 节点地址

节点地址由 ID.8~ID.3 组成,表示数据帧的目的地或数据源,主节点发送时表示目的地;从节点向主节点发送数据表示数据源,从节点向从节点发送数据表示目的地;主节点或从节点发送广播数据时表示目的地。

各通信节点应根据节点地址设置屏蔽码,只接收与本通信节点有关的数据,包括广播数据或组播数据。

8.3.1.4 数据帧类型

数据帧类型由 ID.2~ID.0 组成,表示数据包中数据帧的结构类型和通信节点之间的关系。数据帧类型说明见表 6。

表 6 数据帧类型说明

位序	定义	说明
ID.2	0:主节点发送数据; 1:从节点发送数据	数据帧类型辅助识别,用于唯一识别不同节点发出的数据帧,保证在任何时刻 CAN 数据标识符具有唯一性
ID.1~ID.0	a) “01”:该帧包含信息数据包的首段,即多帧传送起始帧; b) “00”:该帧包含信息数据包的中间段,即多帧传送中间帧; c) “10”:该帧包含信息数据包的尾段,即多帧传送结束帧; d) “11”:该帧包含未分段的信息数据包,即单帧数据	帧序号标志,用于标识该帧中的用户数据属于信息数据包中的哪一部分

8.3.2 数据帧格式

数据帧格式见表 7,具体说明如下:

- a) RTR 为 0;
- b) 数据域最多可含 8 个字节数据,编号为第 0 个字节~第 7 个字节;
- c) 对于单帧数据,帧序号标志 ID.1~ID.0 为“11”,数据域为信息数据包数据;
- d) 对于多帧数据起始帧,帧序号标志 ID.1~ID.0 为“01”,数据域长度为 8 字节,第 0 个字节为帧序号,其他为信息数据包数据,见表 8;
- e) 对于多帧数据中间帧,帧序号标志 ID.1~ID.0 为“00”,数据域长度为 8 字节,第 0 个字节为帧序号,其他为信息数据包数据,见表 9;
- f) 对于多帧数据结束帧,帧序号标志 ID.1~ID.0 为“10”,数据域长度应小于或等于 8 字节,第 0 个字节为帧序号,其他为信息数据包数据,见表 10;
- g) 对于多帧传输,帧序号应连续,帧序号从 0 开始,范围 0~255。

表 7 帧传送格式

序号		数据位序							
		7	6	5	4	3	2	1	0
标识符 ^a	1	优先级 ID.10~ID.9			节点地址 ID.8~ID.3				
	2	帧类型 辅助识别 ID.2	帧序号标志 ID.1~ID.0=“11”		RTR = 0	数据域长度 DLC≤8			
数据域	3	信息数据包数据 Byte0							
	4	信息数据包数据 Byte1							
	5	信息数据包数据 Byte2							
	6	信息数据包数据 Byte3							
							
	...	信息数据包数据 Byte _{l-2}							
	...	信息数据包数据 Byte _{l-1}							
	...								
^a 标准帧以 BasicCAN 为例进行说明。									

表 8 帧传送起始帧格式

序号		数据位序						
		7	6	5	4	3	2	1
标识符	1	优先级 ID.10~ID.9		节点地址 ID.8~ID.3				
	2	帧类型 辅助识别 ID.2	帧序号标志 ID.1~ID.0="01"		RTR=0	数据域长度 DLC=8		
数据域	3	帧序号 (Index = 0)						
	4	信息数据包数据 Byte0						
	5	信息数据包数据 Byte1						
	6	信息数据包数据 Byte2						
	7	信息数据包数据 Byte3						
	8	信息数据包数据 Byte4						
	9	信息数据包数据 Byte5						
	10	信息数据包数据 Byte6						

表 9 帧传送中间帧格式

序号		数据位序						
		7	6	5	4	3	2	1
标识符	1	优先级 ID.10~ID.9		节点地址 ID.8~ID.3				
	2	帧类型 辅助识别 ID.2	帧序号标志 ID.1~ID.0="00"		RTR=0	数据域长度 DLC=8		
数据域	3	帧序号 (Index=1,2,...)						
	4	信息数据包数据 Byte _m ^a						
	5	信息数据包数据 Byte _{m+1}						
	6	信息数据包数据 Byte _{m+2}						
	7	信息数据包数据 Byte _{m+3}						
	8	信息数据包数据 Byte _{m+4}						
	9	信息数据包数据 Byte _{m+5}						
	10	信息数据包数据 Byte _{m+6}						

^a m 表示信息数据包第 m 个数据(从 0 开始)。

表 10 帧传送结束帧格式

序号		数据位序						
		7	6	5	4	3	2	1
标识符	1	优先级 ID.10~ID.9		节点地址 ID.8~ID.3				
	2	帧类型辅助识别 ID.2	帧序号标志 ID.1~ID.0="10"		RTR=0	数据域长度 DLC≤8		
数据域	3	帧序号(Index)						
	4	信息数据包数据 Byte _m						
	5	信息数据包数据 Byte _{m+1}						
	...	信息数据包数据 Byte _{m+2}						
						
	...	信息数据包数据 Byte _{L-2}						
	...	信息数据包数据 Byte _{L-1}						
	...							

8.4 扩展帧格式协议



8.4.1 帧标识符

8.4.1.1 标识符组成

扩展帧标识符由长度为 29 bit 的 ID.28~ID.0 组成,如图 9 所示,包括数据优先级、源节点地址、组播标识、目的节点地址、帧序号标志、帧序号、功能码 7 部分。



图 9 扩展帧标识符的组成

8.4.1.2 数据优先级

数据优先级由 ID.28~ID.27 组成,和节点地址一起决定了数据总线仲裁的优先级,根据实时性要求,不同数据包选择不同的优先级,数值越小,优先级越高。

在一次发送数据包过程中数据优先级不变。

8.4.1.3 源节点地址

源节点地址由 ID.26~ID.21 组成,表示发起数据传输的节点地址,最大支持 64 个节点。

8.4.1.4 组播标识

组播标识由 ID.20~ID.19 组成,用于标识数据为广播或组播。表 11 给出了组播标识、组播地址分

类说明,通过组播标识有助于航天器信息流设计,基于组播标识的组播地址分配示例见附录 A。

表 11 播标识应用说明

分类	组播标识 (Multicast_ID)	组播地址 ^a (Multicast_Addr)
组播 1	01	01xxxxxxb,如 0x7F、0x6F、0x4F
组播 2	10	10xxxxxxb,如 0xBF、0xAF、0x8F
组播 3	11	11xxxxxxb,如 0xFF、0xEF、0xCF
^a 组播标识与目的节点地址组合构成组播地址,其中 0x7F、0xBF、0xEF 等为典型的组播地址,0xFF 一般用作广播地址,每类组播可进一步进行分组。		

8.4.1.5 目的节点地址

目的节点地址由 ID.18~ID.13 组成,表示发送目标节点的地址。

8.4.1.6 帧序号标志

帧序号标志为 ID.12~ID.11,帧序号标志用来标识该帧中的用户数据属于信息数据包中的哪一部分,该标志含义如下:

- “01”:该帧包含信息数据包的首段,即多帧传送起始帧;
- “00”:该帧包含信息数据包的中间段,即多帧传送中间帧;
- “10”:该帧包含信息数据包的尾段,即多帧传送结束帧;
- “11”:该帧包含未分段的信息数据包,即单帧数据。

8.4.1.7 帧序号

帧序号由 ID.10~ID.5 组成,范围 0~63,表示数据帧的序号,用于多帧数据的帧连续性判断,可循环计数。

当帧序号标志为“11”时,帧序号为 0,代表单帧数据。

8.4.1.8 功能码

功能码由 ID.4~ID.0 组成,表示 CAN 帧的数据类型,如表 12 所示。其中轮询控制序列、应答控制序列、数据应答、遥控数据等由用户根据需求定义。

表 12 功能码

ID.4~ID.0	类型	说明
0	自主发送	多主通信时,不受主节点控制的自主广播或组播
1	轮询控制序列	发起轮询—应答过程、广播过程或组播过程,用于数据请求
2	数据应答	作为轮询控制序列的回应,用于遥测、广播或组播等数据应答
3	遥控指令/数据 (需要应答)	发起选择—应答过程,用于遥控指令/数据发送,需要应答
4	应答控制序列	作为遥控指令/数据的应答,用于正确接收遥控指令/数据后进行应答
5	遥控指令/数据 (不需要应答)	发起选择过程,用于遥控指令/数据发送,不需要应答
6~31	其他	用户自定义

8.4.2 数据帧格式

数据帧格式具体说明如下：

- a) RTR 为 0；
- b) 数据域最多可含 8 个字节数据，编号为第 0 个字节～第 7 个字节；
- c) 对于单帧数据，帧序号标志 ID.1～ID.0 为“11”，数据域为信息数据包数据，见表 13；
- d) 对于多帧数据起始帧，帧序号标志 ID.1～ID.0 为“01”，数据域长度为 8 字节，均为信息数据包数据，见表 14；
- e) 对于多帧数据中间帧，帧序号标志 ID.1～ID.0 为“00”，数据域长度为 8 字节，均为信息数据包数据，见表 15；
- f) 对于多帧数据结束帧，帧序号标志 ID.1～ID.0 为“01”，数据域长度小于或等于 8 字节，均为信息数据包数据，见表 16；
- g) 对于多帧传输，帧序号应连续，帧序号从 0 开始，可循环计数。

表 13 单帧传送格式

序号		数据位序						
		7	6	5	4	3	2	1
帧信息	1	1	RTR=0	0	0	数据域长度 $DLC \leq 8$		
标识符 ^a	2	优先级 ID.28～ID.27		源节点地址 ID.26～ID.21				
	3	组播标识 ID.20～ID.19		目的节点地址 ID.18～ID.13				
	4	帧序号标志 ID.12～ID.11=“11”		帧序号 ID.10～ID.5=0				
	5	功能码 ID.4～ID.0				0	0	0
数据域	6	信息数据包数据 Byte0						
	7	信息数据包数据 Byte1						
	8	信息数据包数据 Byte2						
	9	信息数据包数据 Byte3						
						
	...	信息数据包数据 Byte _{l-2}						
	...	信息数据包数据 Byte _{l-1}						
						
^a 扩展帧以 PeliCAN 为例进行说明。								

表 14 多帧传送起始帧格式

序号		数据位序							
		7	6	5	4	3	2	1	0
帧信息	1	1	RTR=0	0	0	数据域长度 DLC=8			
标识符	2	优先级 ID.28~ID.27		源节点地址 ID.26~ID.21					
	3	组播标识 ID.20~ID.19		目的节点地址 ID.18~ID.13					
	4	帧序号标志 ID.12~ID.11="01"		帧序号 ID.10~ID.5=0					
	5	功能码 ID.4~ID.0				0	0	0	
数据域	6	信息数据包数据 Byte0							
	7	信息数据包数据 Byte1							
	8	信息数据包数据 Byte2							
	9	信息数据包数据 Byte3							
	10	信息数据包数据 Byte4							
	11	信息数据包数据 Byte5							
	12	信息数据包数据 Byte6							
	13	信息数据包数据 Byte7							

表 15 多帧传送中间帧格式

序号		数据位序							
		7	6	5	4	3	2	1	0
帧信息	1	1	RTR=0	0	0	数据域长度 DLC=8			
标识符	2	优先级 ID.28~ID.27		源节点地址 ID.26~ID.21					
	3	组播标识 ID.20~ID.19		目的节点地址 ID.18~ID.13					
	4	帧序号标志 ID.12~ID.11="00"		帧序号 ID.10~ID.5=1,3,4...					
	5	功能码 ID.4~ID.0				0	0	0	
数据域	6	信息数据包数据 Byte _m ^a							
	7	信息数据包数据 Byte _{m+1}							
	8	信息数据包数据 Byte _{m+2}							
	9	信息数据包数据 Byte _{m+3}							
	10	信息数据包数据 Byte _{m+4}							
	11	信息数据包数据 Byte _{m+5}							
	12	信息数据包数据 Byte _{m+6}							
	13	信息数据包数据 Byte _{m+7}							

^a m 表示信息数据包第 m 个数据。

表 16 多帧传送结束帧格式

序号		数据位序						
		7	6	5	4	3	2	1
帧信息	1	1	RTR=0	0	0	数据域长度 $DLC \leq 8$		
标识符	2	优先级 ID.28~ID.27		源节点地址 ID.26~ID.21				
	3	组播标识 ID.20~ID.19		目的节点地址 ID.18~ID.13				
	4	帧序号标志 ID.12~ID.11="10"		帧序号 ID.10~ID.5				
	5	功能码 ID.4~ID.0				0	0	0
数据域	6	信息数据包数据 $Byte_m$						
	7	信息数据包数据 $Byte_{m+1}$						
	8	信息数据包数据 $Byte_{m+2}$						
						
	...	信息数据包数据 $Byte_{l-3}$						
	...	信息数据包数据 $Byte_{l-2}$						
	...	信息数据包数据 $Byte_{l-1}$						
						

9 可靠性设计要求

9.1 拓扑结构

CAN 总线网络推荐采用 A、B 双冗余总线,根据项目需求,可采用平台总线和载荷总线独立的拓扑结构,典型航天器 CAN 总线网络拓扑结构如图 10 所示。

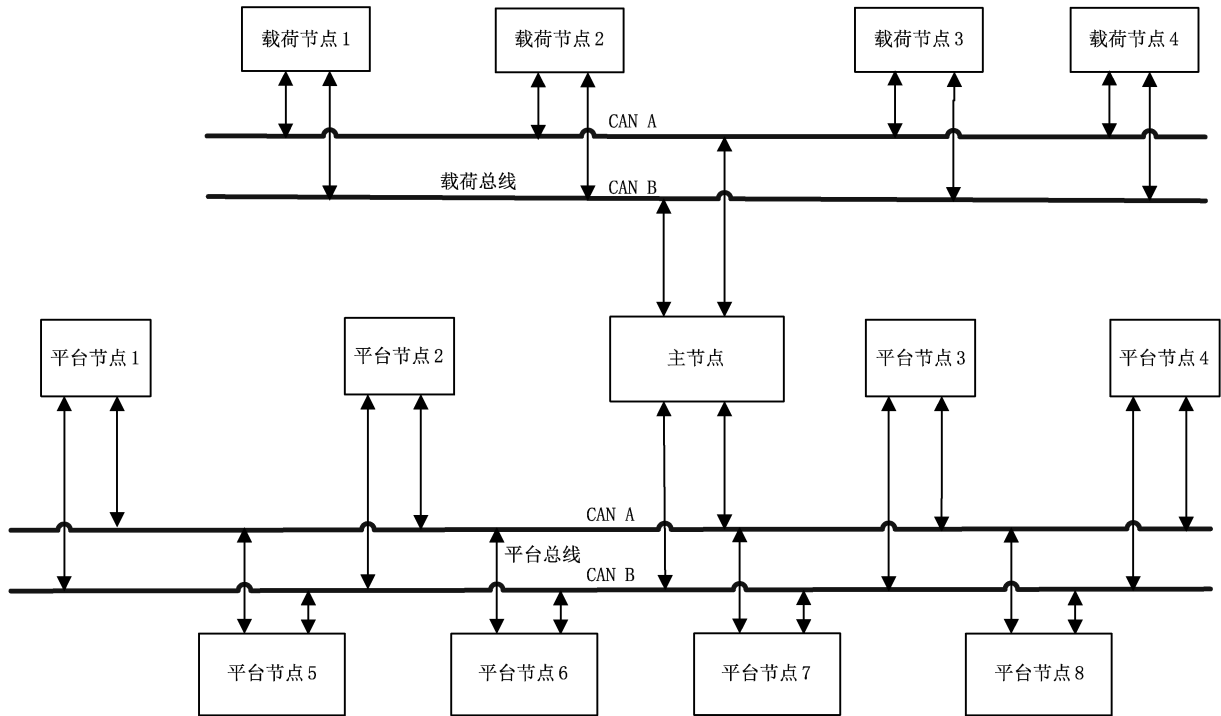


图 10 典型航天器 CAN 总线网络拓扑结构

9.2 抗干扰及恢复措施

9.2.1 抗干扰措施

每个通信节点针对 CAN 总线通信采取以下抗干扰措施：

- 推荐分别独立设置 A、B 总线的接收数据区、接收指针及其他总线状态量，避免两条总线之间互相干扰的可能；
- CAN 总线接收缓冲区采取防溢出措施，避免总线异常时，对软件造成灾难性影响；
- 通信节点应具备过滤不相关数据的能力；
- 对于采用多主通信的 CAN 总线网络，节点应能够适应多主通信方式，如一个信息数据包的多帧数据间被插入其他数据帧等。

9.2.2 恢复措施

每个通信节点针对 CAN 总线故障采取以下恢复措施：

- 如果 A/B 总线停止接收（中断关闭或节点处于总线关闭状态），应对 A/B 总线的 CAN 总线控制器复位（例如 A 总线连续停止接收 16 s，对 A 总线复位，B 总线连续停止接收 16 s，对 B 总线复位）；
- 如果连续几个正常通信周期（例如时间是正常通信周期的 2 倍~8 倍）在 A、B 总线均未接收到符合通信协议的正确数据，对两条总线的 CAN 总线控制器复位。

9.3 双冗余总线选用与切换

总线选用与切换措施如下。

- 从节点使用哪条总线由主节点控制，在通信中从节点应答使用的总线与主节点发送数据使用

的总线相同。自主发送数据所使用的总线由指令控制或按特定规则选择。

- b) 主节点对双冗余 CAN 总线进行监测,当发现某个通信节点异常时,应自动对该节点切换到另一总线进行通信。
- c) 主节点通过 CAN 总线将数据块发送到相应的从节点,如得不到应答,则再发送一次。
- d) 主节点通过 CAN 总线将遥控指令发送到相应的从节点,如得不到应答,则再发送一次;如第二次发送仍得不到应答,切换总线再发送一次。

10 管理信息库

管理参数包括节点地址、组播/广播地址、节点标识、验收码、屏蔽码等,如表 17 所示。

表 17 管理参数说明

管理参数	允许值	说明
节点地址	0~63	—
组播/广播地址	标准帧:0~63 扩展帧:64~255	—
节点标识	整数	节点别名,可选
验收码	整数	用于数据过滤
屏蔽码	整数	用于数据过滤

附录 A

(资料性)

节点地址分配及数据过滤示例

A.1 组播地址设计

表 A.1 中定义了部分通信节点地址及其通信需求,通过对节点地址、组播地址、验收码、屏蔽码联合设计可满足航天器节点间信息交互的需求,根据表 A.1 中通信需求,组播地址可设计如下:

- a) 时间数据由主节点发出,设计为组播 1 类,地址为 0x7F,记为组播 1A;
- b) 全球导航卫星系统(GNSS)定位数据由节点 8 发出,设计为组播 3 类,地址为 0xCF,记为组播 3A;
- c) 姿态数据地址由主节点 3 发出,设计为组播 3 类,地址为 0xDF,记为组播 3B。

A.2 数据过滤示例

验收码、屏蔽码设置方法不唯一,基于组播标识扩充了组播地址数量,并且有利于过滤器的设计,表 A.1 以双过滤器为例进行说明,其中过滤器 1 用于实现点对点通信,过滤器 2 用于组播/广播接收,如对于组播分类接收,可按如下方法设置:

- a) 接收单类组播验收码可设置为(Multicast_ID \ll 6),屏蔽码设置为 0x3F;
- b) 同时接收组播 1 和组播 3 验收码可设置为 0xC0 (“11” \ll 6),屏蔽码设置为 0xBF;
- c) 同时接收组播 2 和组播 3 验收码可设置为 0xC0 (“11” \ll 6),屏蔽码设置为 0x7F。

以 SJA1000 为例,数据过滤设置示例如下:过滤器 1 由验收码寄存器 ACR0、ACR1,屏蔽码寄存器 AMR0、AMR1 构成,过滤器 2 由验收码寄存器 ACR2、ACR3,屏蔽码寄存器 AMR2、AMR3 构成。ACR0/AMR0、ACR2/ AMR2 用于 ID.28~ID.21 过滤,ACR1/ AMR1、ACR3/ AMR3 用于 ID.20~ID.13 过滤,当每一位标识符均满足 ID. i =ACR. i 或 AMR. i =1(i =13,⋯,28)时,该数据帧被接收。

表 A.1 节点地址分配示例

序号	节点地址		通信节点	通信需求	过滤器 1 配置 (实现与主节点点对点通信)				过滤器 2 配置 (用于组播、广播接收)				
	二进制	十六进制			ACR0	ACR1	ACR2	ACR3	AMR0	AMR1	AMR2	AMR3	
0	00 0000	0x00	主节点	主节点,接收所有数据	0x00	0xFF	0x00	0xFF	0x00	0x00	0xFF	0x00	0xFF
1	00 0001	0x01	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2	00 0010	0x02	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3	00 0011	0x03	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4	00 0100	0x04	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
5	00 0101	0x05	节点 1	与主节点通信; 接收时间数据组播 1A	0x00	0xC0	0x05	0x00	0x00	0x00	0xC0	0x40	0x3F
6	00 0110	0x06	节点 2	与主节点通信; 接收时间数据组播 1A	0x00	0xC0	0x06	0x00	0x00	0x00	0xC0	0x40	0x3F
7	00 0111	0x07	节点 3	与主节点通信; 接收时间数据组播 1A; 接收定位数据组播 3A	0x00	0xC0	0x07	0x00	0x00	0x00	0xC0 0x16	0xC0	0xBF
8	00 1000	0x08	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
9	00 1001	0x09	节点 4	与主节点通信	0x00	0xC0	0x09	0x00	0x00	0x00	0xC0	0x09	0x00
10	00 1010	0x0A	节点 5	与主节点通信	0x00	0xC0	0x0A	0x00	0x00	0x00	0xC0	0x0A	0x00
11	00 1011	0x0B	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
12	00 1100	0x0C	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
13	00 1101	0x0D	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
14	00 1110	0x0E	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

表 A.1 节点地址分配示例 (续)

序号	节点地址		通信节点	通信需求	过滤器 1 配置 (实现与主节点点对点通信)				过滤器 2 配置 (用于组播、广播接收)			
	二进制	十六进制			ACR0	AMR0	ACR1	AMR1	ACR2	AMR2	ACR3	AMR3
15	00 1111	0x0F	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
16	01 0000	0x10	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
17	01 0001	0x11	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
18	01 0010	0x12	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
19	01 0011	0x13	节点 6	与主节点通信； 接收时间数据组播 1A	0x00	0xC0	0x13	0x00	0x00	0xC0	0x40	0x3F
20	01 0100	0x14	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
21	01 0101	0x15	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
22	01 0110	0x16	节点 8	与主节点通信	0x00	0xC0	0x16	0x00	0x00	0xC0	0x16	0x00
23	01 0111	0x17	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
24	01 1000	0x18	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
25	01 1001	0x19	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
26	01 1010	0x1A	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
27	01 1011	0x1B	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
28	01 1100	0x1C	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
29	01 1101	0x1D	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
30	01 1110	0x1E	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
31	01 1111	0x1F	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

表 A.1 节点地址分配示例 (续)

序号	节点地址		通信节点	通信需求	过滤器 1 配置 (实现与主节点点对点通信)				过滤器 2 配置 (用于组播、广播接收)			
	二进制	十六进制			ACR0	ACR1	ACR2	ACR3	AMR0	AMR1	AMR2	AMR3
32	10 0000	0x20	节点 9	与主节点通信; 接收时间数据组播 1A; 接收姿态数据组播 3B	0x00	0xC0	0x20	0x00	0x00	0xC0 0x07	0x5F	0xA0
33	10 0001	0x21	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
34	10 0010	0x22	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
35	10 0011	0x23	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
36	10 0100	0x24	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
37	10 0101	0x25	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
38	10 0110	0x26	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
39	10 0111	0x27	节点 10	与主节点通信; 接收时间数据组播 1A; 接收定位数据组播 3A; 接收姿态数据组播 3B	0x00	0xC0	0x27	0x00	0	0xC0 0x16 0x07	0xC0	0xBF
40	10 1000	0x28	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
41	10 1001	0x29	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
42	10 1010	0x2A	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
43	10 1011	0x2B	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
44	10 1100	0x2C	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
45	10 1101	0x2D	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

表 A.1 节点地址分配示例 (续)

序号	节点地址		通信节点	通信需求	过滤器 1 配置 (实现与主节点点对点通信)				过滤器 2 配置 (用于组播、广播接收)				
	二进制	十六进制			ACR0	AMR0	ACR1	AMR1	ACR2	AMR2	ACR3	AMR3	
46	10 1110	0x2E	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
47	10 1111	0x2F	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
48	11 0000	0x30	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
49	11 0001	0x31	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
50	11 0010	0x32	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
51	11 0011	0x33	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
52	11 0100	0x34	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
53	11 0101	0x35	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
54	11 0110	0x36	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
55	11 0111	0x37	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
56	11 1000	0x38	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
57	11 1001	0x39	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
58	11 1110	0x3A	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
59	11 1011	0x3B	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
60	11 1100	0x3C	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
61	11 1101	0x3D	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
62	11 1110	0x3E	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
63	11 1111	0x3F	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

