



中华人民共和国国家标准

GB/T 38065—2019

航天器 SpaceWire 总线技术要求

Technical requirements of SpaceWire bus on spacecraft

2019-10-18 发布

2020-05-01 实施

国家市场监督管理总局
中国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、缩略语..... 1

 3.1 术语和定义 1

 3.2 缩略语 4

4 一般要求 4

 4.1 总线结构 4

 4.2 协议栈 5

5 详细要求 6

 5.1 物理层 6

 5.1.1 电缆 6

 5.1.2 连接器 6

 5.1.3 电缆组件 7

 5.1.4 PCB 布线 9

 5.2 信号层 9

 5.2.1 LVDS 9

 5.2.2 信号编码 11

 5.2.3 SpaceWire 链路 11

 5.2.4 链路速率 11

 5.3 字符层 12

 5.3.1 数据字符 12

 5.3.2 控制字符 12

 5.3.3 控制码 13

 5.3.4 奇偶校验 13

 5.3.5 初始传输字符 13

 5.3.6 链路发送器/接收器与主机系统接口 13

 5.4 交换层 14

 5.4.1 链路字符和标准字符 14

 5.4.2 字符传输优先级 14

 5.4.3 链路流控制 14

 5.4.4 链路状态机 15

 5.4.5 链路初始化 18

 5.4.6 差错检测 20

 5.5 包层 21

 5.5.1 包的定义 21

 5.5.2 CCSDS 包在 SpaceWire 网络上的传输 21

5.6 网络层	21
5.6.1 基本特性	21
5.6.2 SpaceWire 路由	23
5.6.3 SpaceWire 节点	24
5.6.4 SpaceWire 网络	24
5.6.5 网络时间	24
6 故障恢复机制	25
6.1 交换层故障及处理	25
6.1.1 交换层故障类型	25
6.1.2 交换层故障处理	25
6.2 网络层故障及处理	25
6.2.1 链接错误处理	25
6.2.2 接收到包错误结束字符处理	25
6.2.3 无效目的地址处理	26
6.3 链路错误恢复	26
6.4 应用层故障处理	26
6.4.1 应用层约定	26
6.4.2 链路初始化超时故障处理	27
6.4.3 包传输超时故障处理	27
6.4.4 包接收超时故障处理	27
7 典型应用	27
7.1 系统设计	27
7.2 工艺设计	28
7.2.1 PCB 设计	28
7.2.2 连接器焊接	28
7.3 结构设计	28

前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准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。

本标准起草单位:上海航天计算机技术研究所、北京控制工程研究所、山东博达特种电缆有限公司、西安微电子技术研究所、航天时代电子技术股份有限公司、北京荣俊恺业电子技术有限公司。

本标准主要起草人:徐瑞瑞、朱新忠、赖晓敏、史琴、周秀娟、泮朋军、张风源、罗唤霖、吴杰、蒋仁兴、刘波、赵汝海、宋义达、梁洁玫、张凯、王剑峰、彭清华、甘军宁、曾俊杰、包勇。

航天器 SpaceWire 总线技术要求

1 范围

本标准规定了 SpaceWire 总线及其相关设备接口的一般要求、详细要求、故障恢复机制以及典型应用。

本标准适用于各种航天器内的 SpaceWire 总线及其相关设备的研制与使用。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是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。

IEEE 1355—1995 异构互连(HIC)(低成本,用于并行系统结构低延迟可扩展串行互连)[IEEE Standard for Heterogeneous InterConnect (HIC), (Low-Cost, Low-Latency Scalable Serial Interconnect for Parallel System Construction)]

IEEE 1596.3—1996 可量测相干接口(SCI)用低压差动信号(LVDS) [IEEE Standard for Low-Voltage Differential Signals (LVDS) for Scalable Coherent Interface (SCI)]

3 术语和定义、缩略语

3.1 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1.1

链路 link

两个 SpaceWire 端口之间用于传输数据和控制信息的双向链接。



3.1.2

节点 node

SpaceWire 包的源发地或目的地,可为存储器、传感器或其他接入 SpaceWire 网络的设备。

注:节点包含一个或多个 SpaceWire 端口。

3.1.3

路由器 router

包含一个开关矩阵、一个或多个 SpaceWire 端口,根据每个包的目的地地址控制路由开关,将其从一个 SpaceWire 端口交换至另一个 SpaceWire 端口的器件。

3.1.4

网络 network

由节点、链路、路由器(可选)构成,节点与节点间通过链路和路由器相互连接,实现数据包的传输。

3.1.5

端口 port

SpaceWire 总线接口,含输入口和输出口。

3.1.6

协议栈 protocol stack

网络中各层协议的总和。

注：网络中的数据依次从顶层协议传递到底层协议，再从底层协议依次传递到顶层协议。SpaceWire 网络的协议栈由底层到顶层依次为物理层、信号层、字符层、交换层、包层、网络层和应用层（用户自定义）。

3.1.7

物理层 physical layer

规定物理互连介质，如电缆、接插件等的协议层。

3.1.8

信号层 signal level

规定 SpaceWire 电信号电气特性、噪声容限和信号编码方式的协议层。

3.1.9

字符层 character level

规定如何将数据和控制字符转换成位流的协议层。

3.1.10

交换层 exchange level

规定链路初始化、链路流控制、链路错误检测以及链路错误恢复机制的协议层。

3.1.11

包层 packet level

规定如何将数据组织成可以在链路或网络上传输的包的协议层。

3.1.12

网络层 network level

规定数据包如何通过网络从源节点传输到目标节点的协议层。

3.1.13

故障恢复机制 error recovery scheme

在 SpaceWire 链路上发现并处理错误的方法。

3.1.14

数据-阀控 data-strobe; DS

将数据位流和时钟信号编码成两个信号，一个为原始数据位流，称为数据信号（D 信号），另一个信号在数据位流不变化时翻转，称为阀控信号（S 信号）。

3.1.15

数据字符 data character

DS 编码后的数据字节，10 位宽，可在链路上传输。

3.1.16

控制字符 control character

用于在链路上传递控制信息的字符。

3.1.17

包结束标识 end of packet marker

控制字符，指示包的结束，包括包结束字符（End of packet, EOP）和包错误结束字符（Error end of packet, EEP）。

3.1.18

标准字符 normal-character

数据字符、EOP 及 EEP 的统称。

3.1.19

流控制令牌字符 flow control token; FCT

用于管理链路上的数据流的控制字符。

注：一个流控制令牌表示可以再接收 8 个标准字符。

3.1.20

转义字符 escape character; ESC

控制字符，与其他控制字符或数据字符组合成控制码。

3.1.21

控制码 control code

两个控制字符组成的字符序列，包括空闲码(Null)和时间码(Time-Code)。

3.1.22

空闲码 Null

由一个 ESC 和一个 FCT 组成的控制码。

注：当链路上无数据或控制字符传输时，持续发送空闲码，以保持链路活跃。

3.1.23

时间码 Time-Code

用于同步 SpaceWire 网络时间，由一个 ESC 和一个数据字符组成，数据字符由 6 位的信息时间和 2 位保留位组成的控制码。

3.1.24

链路字符 link-character

用于控制链路上的数据流，仅在链路层传输的控制字符或控制码，包括 FCT 和 Null。

3.1.25

包 packet

由目的地址、包装数据、包结束标识组成的标准字符序列。

3.1.26

链路速率 data signalling rate

控制字符及数据字符位流在链路上的传输速率。

3.1.27

自启动 AutoStart

通过软件或硬件方式实现的配置参数。置位后，SpaceWire 端口一旦接收到 Null 即打开链路。

3.1.28

链路启动 LinkStart

通过软件或硬件方式实现的配置参数。置位后，SpaceWire 端口发送 Null 以启动 SpaceWire 链路。

3.1.29

主机系统 host system

链路接口接入的系统，如计算机、传感器、存储器。

注：主机系统可不含处理器。

3.1.30

链路接口 link interface

SpaceWire 总线接口，包含一个从主机系统取数发送到 SpaceWire 链路上的发送器；一个从 SpaceWire 链路接收数据传送至主机系统的接收器。

3.1.31

逻辑地址 **logical address**

位于包首,指示包的目的地数据字符。

3.1.32

偏斜 **skew**

信号上升沿或下降沿的实际到达时间与预期到达时间之间的差值。

3.1.33

抖动 **jitter**

信号的时域变化与其理想位置之间的偏差。

3.2 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

CCSDS:空间数据系统咨询委员会(consultative committee for space data systems)

DS:数据-闸控(data-strobe)

EEP:包错误结束字符(error end of packet)

EMC:电磁兼容性(electromagnetic compatibility)

EOP:包结束字符(end of packet)

ESC:转义字符(escape character)

FCT:流控制令牌字符(flow control token)

FIFO:先进先出存储器(first in first out memory)

L-Char:链路字符(link-character)

LSB:最低有效位(least significant bit)

LVDS:低电压差分信号(low voltage differential signalling)

MSB:最高有效位(least significant bit)

N-Char:标准字符(normal-character)

PCB:印制电路板(printed circuit board)

RMAP:远程存储访问协议(remote memory access protocol)

4 一般要求

4.1 总线结构

SpaceWire 总线网络由节点、路由器和链路组成,节点之间通过链路和路由器(可选)连接。一个最简网络,由两个节点和一条链路组成,如图 1 所示;一个较为复杂的网络,由多个节点、路由器及多条链路组成,如图 2 所示。其中,链路为全双工、串行、点到点传输线路,传输介质为屏蔽双绞线。网络中的信息交互以数据包的方式进行传输,数据包的源及目的设备均为节点。

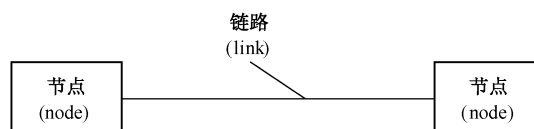


图 1 SpaceWire 最简网络示意图

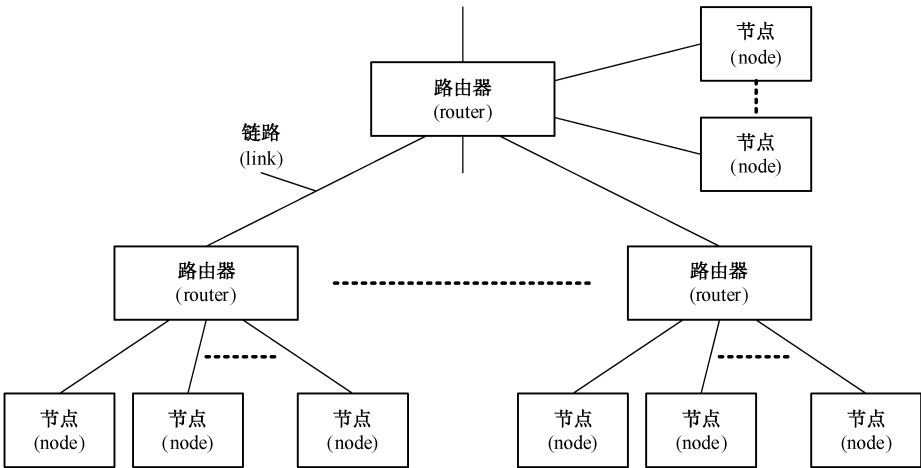


图 2 复杂 SpaceWire 网络示意图

4.2 协议栈

SpaceWire 协议栈由物理层、信号层、字符层、交换层、包层、网络层及应用层组成，如图 3 所示。

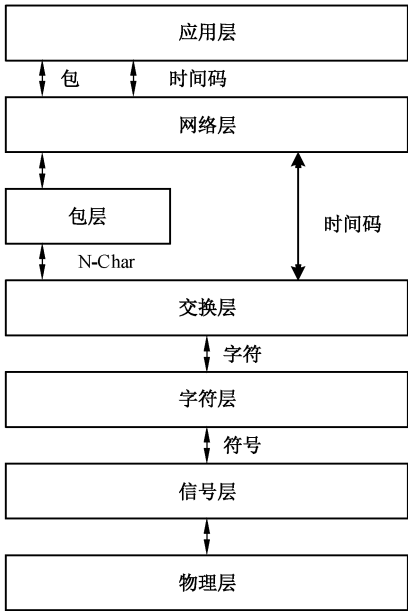


图 3 SpaceWire 协议栈示意图

各协议层规定内容如下：

- a) 物理层提供传送数据的物理通路，包括电缆、连接器、电缆组件、PCB 走线等物理介质。本标准对电缆、连接器、电缆组件、PCB 走线等进行了约束；
- b) 信号层提供可靠的信号传输模式。本标准规定了信号经 DS 编码后以 LVDS 电平形式传输，对 LVDS 信号噪声门限、DS 编码、链路速率等进行了规定；
- c) 字符层定义数据字符、控制字符和控制码；
- d) 交换层旨在物理通道上建立可靠的数据传输链路；
- e) 包层定义数据链路上传输的数据包格式；
- f) 网络层定义网络构成和运行机制；
- g) 应用层由用户自行定义。

5 详细要求

5.1 物理层

5.1.1 电缆

5.1.1.1 电缆结构

SpaceWire 电缆由 4 对相互绝缘的双绞屏蔽线和外绝缘层构成。

5.1.1.2 差分特征阻抗

差分对的特征阻抗应为 $(100 \pm 6) \Omega$ 。

5.1.1.3 偏斜

差分对之内的信号偏斜应小于 0.05 ns/m；差分对之间的信号偏斜应小于 0.1 ns/m。

5.1.2 连接器

5.1.2.1 选型

SpaceWire 连接器可选用微距 D 型、9 芯压接或焊接连接器，也可选用其他类型的、可用于差分信号传输的接插件。同一网络内的设备宜选用相同规格的连接器的，以便于快速组网以及设备和电缆的复用。

5.1.2.2 插座

设备端宜采用孔式插座，插座应为直针式，以提高设备的抗震性。插座安装时应与设备壳体良好接触，搭接电阻小于 10 mΩ。

5.1.2.3 插头

电缆端宜采用针式插头，电缆屏蔽层通过防电磁干扰尾罩与连接器的保护罩连接。

5.1.2.4 连接器接点定义

9 芯连接器的接点定义如表 1 和图 4 所示。

表 1 连接器接点定义

连接器接点号	信号名称
1	Din+
2	Sin+
3	可不连接或连接到电缆的内屏蔽层，根据系统及设备的接地设计进行选择，宜连接
4	Sout—
5	Dout—
6	Din—
7	Sin—
8	Sout+
9	Dout+

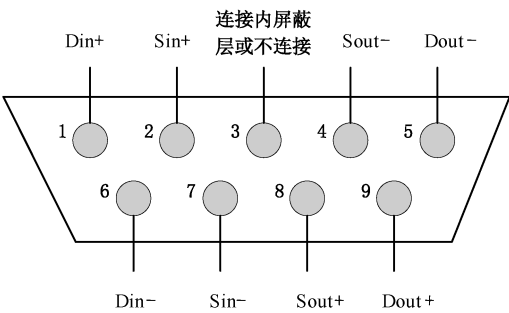


图 4 SpaceWire 连接器接点定义图

5.1.2.5 连接器与印制板的连接

连接器通过飞线连接到印制板，所有飞线修剪等长，差分对进行双绞。若连接器接点 3 与内屏蔽层连接，则从内屏蔽层引线连接到印制板的信号地。

5.1.3 电缆组件

5.1.3.1 组成

电缆组件由两个相同的连接器和一根电缆组成。

5.1.3.2 电缆长度和电气性能

电缆的最大长度取决于 D 信号和 S 信号的偏斜、抖动及信号衰减。

电缆组件的差分对之内的信号偏斜应小于 0.05 ns/m。

电缆组件的差分对之间的信号偏斜应小于 0.1 ns/m。

5.1.3.3 电缆组件连接

电缆组件的连接有两种方式，方式一如图 5 和表 2 所示，方式二如图 6 和表 3 所示。

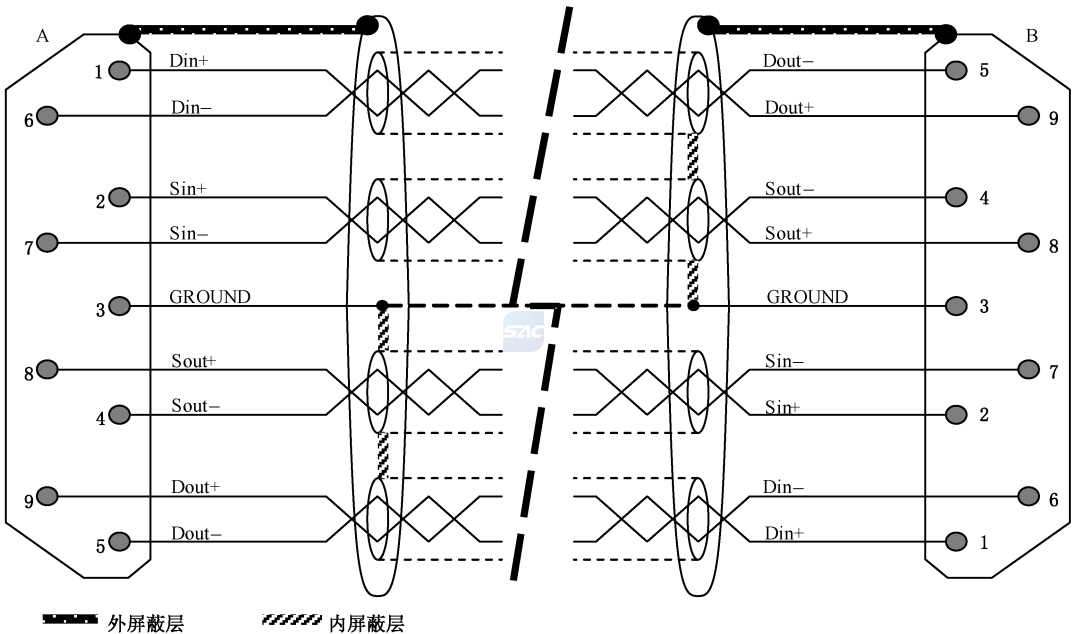


图 5 SpaceWire 电缆组件连接方式一示意图

表 2 电缆组件连接方式一接点表

连接器 A 信号	连接器 A 管脚	电缆	连接器 B 管脚	连接器 B 信号
A-Din+	1	连接	9	B-Dout+
A-Din-	6	连接	5	B-Dout-
A-Sin+	2	连接	8	B-Sout+
A-Sin-	7	连接	4	B-Sout-
A-GND (与差分对 5,9,4,8 的内屏蔽层相连)	3	连接/ 不连接	3	B-GND (与差分对 5,9,4,8 的内屏蔽层相连)
A-Sout+	8	连接	2	B-Sin+
A-Sout-	4	连接	7	B-Sin-
A-Dout+	9	连接	1	B-Din+
A-Dout-	5	连接	6	B-Din-
A-外屏蔽层	连接器壳体	连接	连接器壳体	B-外屏蔽层

连接方式一的要求如下：

a) Dout+/Dout- 差分对与 Sout+/Sout- 差分对的内屏蔽层应相连，并连接到连接器接点 3；

b) 连接器与电缆的连接处宜使用金属尾罩，以取得良好的力学保护和电磁屏蔽效果；

c) 电缆外屏蔽层与连接器壳体应良好结合，搭接电阻小于 10 mΩ；

d) 金属尾罩与连接器主体应良好结合，搭接电阻小于 10 mΩ；

e) 两个连接器的接点 3 可连接或不连接，根据系统及设备的接地设计进行选择，推荐连接。

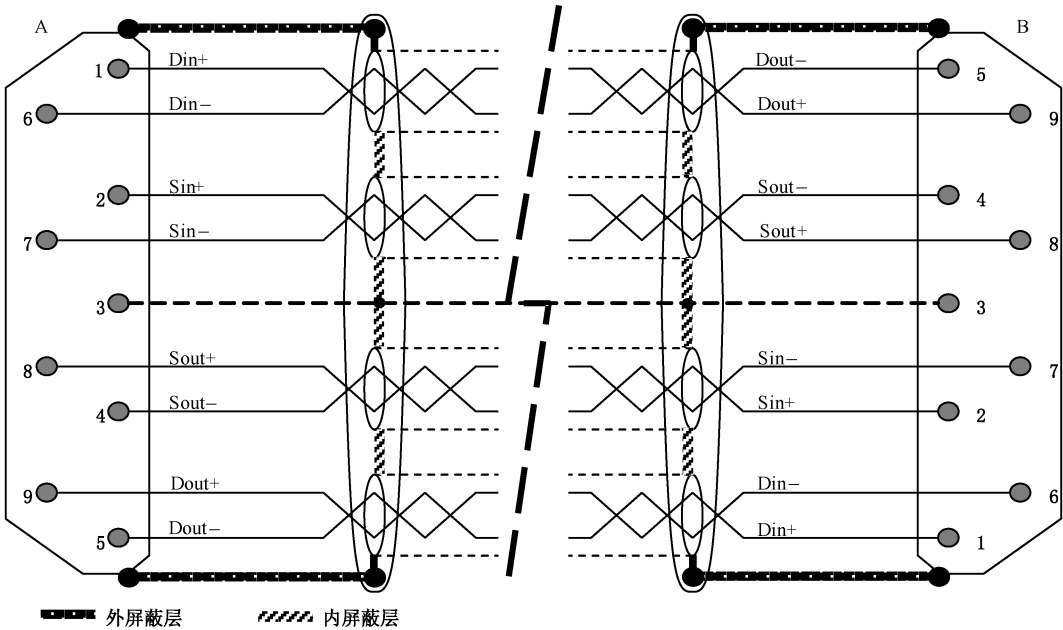


图 6 SpaceWire 电缆连接方式二示意图

表 3 电缆连接方式二接点表

连接器 A 信号	连接器 A 管脚	电缆	连接器 B 管脚	连接器 B 信号
A-Din+	1	连接	9	B-Dout+
A-Din—	6	连接	5	B-Dout—
A-Sin+	2	连接	8	B-Sout+
A-Sin—	7	连接	4	B-Sout—
A-GND(与内屏蔽层 相连)/空点	3	连接/ 不连接	3	B-GND(与内屏蔽层 相连)/空点
A-Sout+	8	连接	2	B-Sin+
A-Sout—	4	连接	7	B-Sin—
A-Dout+	9	连接	1	B-Din+
A-Dout—	5	连接	6	B-Din—
<p>连接方式二的要求如下：</p> <p>a) 4 个差分对的内屏蔽内均与连接器壳体应良好结合,搭接电阻小于 10 mΩ；</p> <p>b) 连接器与电缆的连接处宜使用金属尾罩,以取得良好的力学保护和电磁屏蔽效果；</p> <p>c) 电缆外屏蔽层应与连接器壳体或金属尾罩全方位连接,搭接电阻小于 10 mΩ；</p> <p>d) 金属尾罩与连接器主体应良好结合,搭接电阻小于 10 mΩ；</p> <p>e) 两个连接器的接点 3 可连接或不连接,根据系统及设备的接地设计进行选择,推荐连接。</p>				

5.1.4 PCB 布线

差分对 PCB 布线要求如下：

- a) 应依照差分线布线规则,平行、靠近走线,且阻抗控制为 $(100 \pm 6) \Omega$ ；
- b) 差分对之内两个信号走线长度的差值应小于 3 mm；
- c) D 信号差分对和 S 信号差分对之间走线长度的差值应小于 5 mm；
- d) 应尽可能减少差分对走线上的过孔数量。

5.2 信号层

5.2.1 LVDS

5.2.1.1 LVDS 信号特性

在 SpaceWire 电缆中传输的 D 信号和 S 信号均为 LVDS 信号,设备端可选用 LVDS 接收和发送芯片、或是内嵌 LVDS 接收器和发送器的集成电路实现 LVDS 信号的发送和接收,LVDS 信号的电气特征应符合 IEEE 1596.3—1996 标准。

LVDS 信号单端特性如图 7 所示：

- a) 正、负信号的共模电压(V_{cm})为 1.125 V~1.375 V；
- b) 正、负信号幅值(V_{tx})为+250 mV~+450 mV；

LVDS 差分特性如图 8 所示：

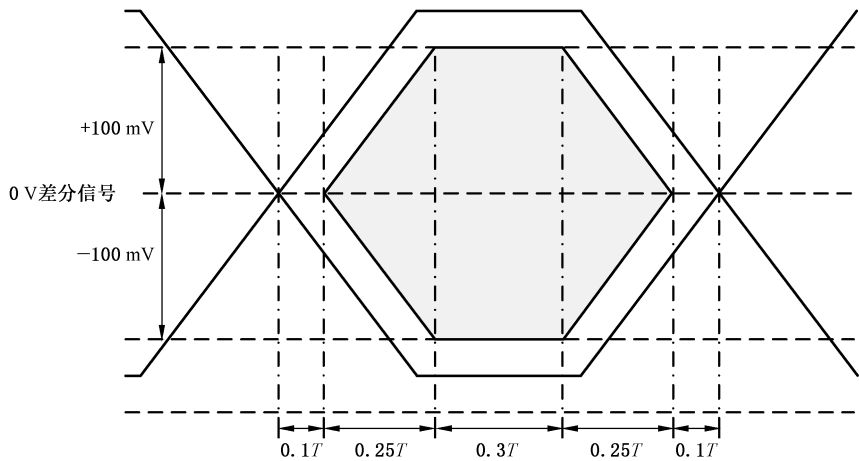


图 9 LVDS 接收信号眼图质量要求示意图

5.2.1.3 LVDS 失效保护措施

LVDS 失效保护措施如下：

- a) 下列情况发生时, LVDS 接收器的输出应锁定为高阻态且不能出现振荡：
 - 1) LVDS 发送器未加电；
 - 2) LVDS 发送器使能无效(输出高阻态)；
 - 3) LVDS 接收器输入端开路(例如电缆断开)；
- b) LVDS 发送器未加电时, 输出端应为高阻态, 且泄漏电流小于 10 μA ；
- c) LVDS 接收器未加电时, 输入端应为高阻态, 且泄漏电流小于 10 μA 。

5.2.2 信号编码

SpaceWire 采用 DS 编码方式, 编码规则: D 信号与数据位流一致, 即当数据位为 1 时为高电平, 当数据位为 0 时为低电平; S 信号则在相邻数据位不变化时翻转电平, 如图 10 所示。

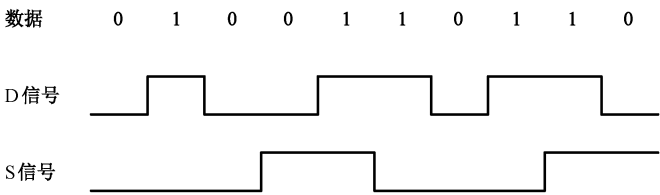


图 10 DS 编码

5.2.3 SpaceWire 链路

SpaceWire 链路为双向、点到点的链接, 每方向包含 2 对差分对: D 信号差分对和 S 信号差分对。

5.2.4 链路速率

5.2.4.1 初始链路速率

SpaceWire 链路复位或断开之后, 以 (10 ± 1) Mbit/s 的初始链路速率建立链接。链接建立后, 可通过指令设置链路速率。

5.2.4.2 最小链路速率

最小链路速率为 2 Mbit/s。

5.2.4.3 最大链路速率

最大链路速率因系统而异,受信号衰减、偏斜和抖动情况的影响。最大链路速率下的信号眼图应满足 5.2.1.2 的要求。

5.2.4.4 系统链路速率

当链路处于运行态时,可根据应用需求设置链路速率。
一个链路的两个方向,可根据应用需求设置不同的链路速率。
网络中的不同链路,可根据应用需求设置不同的链路速率。

5.3 字符层

5.3.1 数据字符

数据字符为编码后字符为 10 位,含 1 位校验位、1 位数据控制位和 8 位数据;其中,数据控制位为“0”,表示当前为数据字符;8 位数据应先传低位再传高位,如图 11 所示。

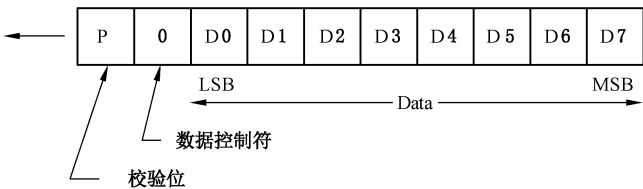


图 11 数据字符

5.3.2 控制字符

控制字符为编码后字符为 10 位,含 1 位校验位、1 位数据控制位和 8 位数据;数据控制位为“1”,表示当前为控制字符。SpaceWire 定义了四种控制字符,分别为流控制令牌字符(FCT)、包结束字符(EOP)、包错误结束字符(EEP)以及转义字符(ESC),如图 12 所示。

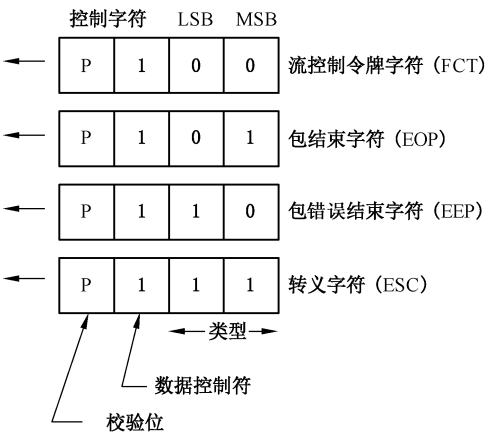


图 12 控制字符

5.3.3 控制码

空闲码(Null)由 ESC 和 FCT 组成,中间的校验位为“0”,如图 13 所示。当链路上无数据字符或控制字符传输时,持续发送空闲码,以保持链路活跃性并用于链路断开检测。

时间码(Time-Code)由 ESC 和数据字符组成,中间的校验位为“1”,如图 13 所示,其中 B0~B5 为时间信息,B6、B7 为控制信号。时间码用于分发系统时间信息。

ESC 之后禁止跟随 ESC、EOP 或 EEP,违反则需报错。

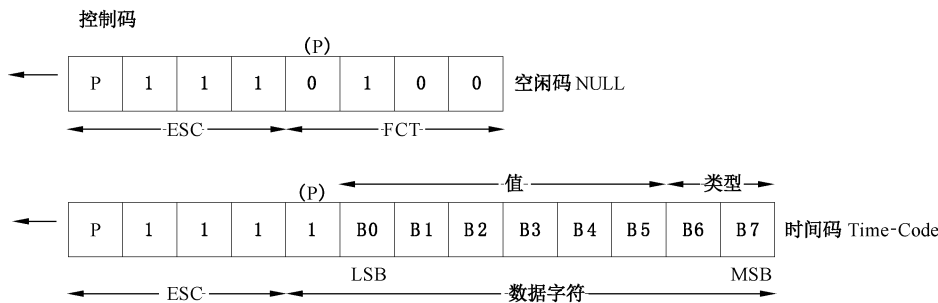


图 13 控制码

5.3.4 奇偶校验

编码后的 1 位校验位用于检测传输过程中每个数据字符或控制字符是否出错,校验位的作用范围为数据字符的低 8 位或控制字符的低 2 位、当前校验位和当前数据控制位,如图 14 所示。SpaceWire 采用奇校验,因此检验作用域内“1”的数量应为奇数。

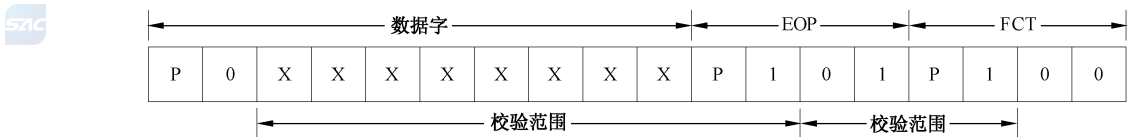


图 14 奇偶校验作用范围

5.3.5 初始传输字符

复位或链路出错时,D 信号和 S 信号应先置 0。发送器复位后应先发送校验位,且该位应置 0,以使 S 信号先发生翻转,如图 15 所示。

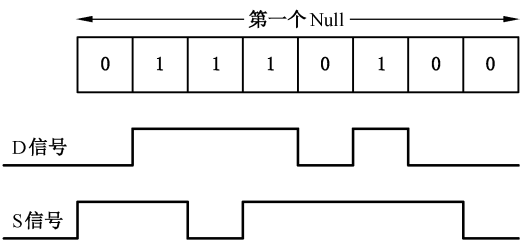


图 15 链路启动时首个传输字符(Null)发送示意图

5.3.6 链路发送器/接收器与主机系统接口

链路接口包含链路发送器和链路接收器,发送器从主机系统获取数据发送到链路上,接收器从链路

接收数据发送至主机系统。

链路发送器/接收器与主机系统的字符层接口由 8 位数据位和 1 位控制位组成,含义如表 4。

表 4 链路发送器/接收器与主机系统的数据接口

控制位	数据位(MSB…LSB)	含义
0	xxxx xxxx	8 位数据
1	xxxx xxx0(一般采用 0000 0000)	EOP
1	xxxx xxx1(一般采用 0000 0001)	EEP

5.4 交换层

5.4.1 链路字符和标准字符

交换层有两类字符,分别是链路字符(link-character, L-Char)和标准字符(normal-character, N-Char)。L-Char 包括 FCT、ESC、Null 及 Time-Code,这些字符不会被传递到包层。N-Char 包含传输的数据字符及包结束标识(EOP 和 EEP),这些字符校验正确后将被传递到包层。

5.4.2 字符传输优先级

字符传输的优先级为:

- Time-Code—最高优先级;
- FCT;
- N-Char;
- Null—最低优先级。

5.4.3 链路流控制

N-Char 流在链路上的传输由 FCT 控制实现,若链路 A 端向 B 端发送了 FCT,则表明 A 端可以接收若干数据,实现方式说明如下:

- 每个 FCT 指示可以接收 8 个 N-Char;SpaceWire 端口发出一个 FCT,则表明该端口可以再接收 8 个 N-Char;SpaceWire 端口应在接收到 FCT 之后,方可向链路另一端发送 N-Char;
- SpaceWire 端口对被授权发送的 N-Char 进行信用计数:每接收到一个 FCT,计数器增加 8;每发送一个 N-Char,计数器减 1;
- SpaceWire 端口的发送信用计数为 0 时,应停止发送 N-Char 并持续发送 L-Char,直到收到一个新的 FCT,将计数器置为 8;
- 链路复位时,发送信用计数器应置 0,最大值为 56(7 个 FCT),若收到新的 FCT 后,计数器值超过 56,则计数器值不增加且上报信用错误;
- SpaceWire 端口对请求接收的 N-Char 进行信用计数:每发送到一个 FCT,计数器增加 8;每接收一个 N-Char,计数器减 1;
- 链路复位时,接收信用计数器应置 0,最大值为 56(7 个 FCT);
- SpaceWire 端口有足够的空间缓存 8 个新的 N-Char,且接收信用计数器不会溢出时,方可发送新 FCT。

5.4.4 链路状态机

5.4.4.1 概述

链路状态机的状态转移图如图 16 所示。

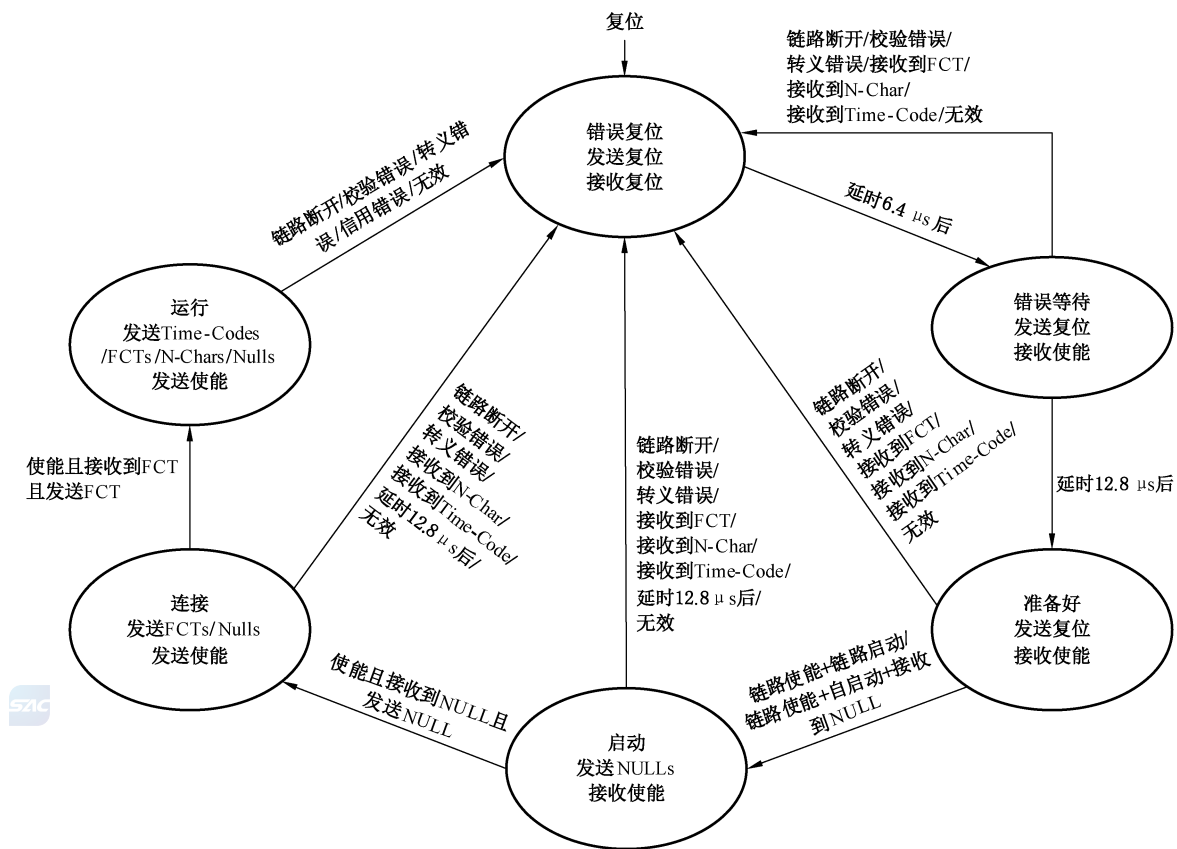


图 16 链路状态机状态转移图

链路状态机控制 SpaceWire 链路的初始化、建立链接以及指令响应过程。当链路出现错误时,状态机可从错误中恢复。

5.4.4.2 错误复位状态

错误复位状态如下:

- a) 链路状态机在下列情况会跳转到错误复位状态:
- 1) 端口复位;
 - 2) 在错误等待状态,当端口无效或断开、校验错误、转义错误、接收到 FCT、接收到 N-Char 或接收到 Time-Code 等事件发生时;
 - 3) 在准备好状态,当端口无效或断开、校验错误、转义错误、接收到 FCT、接收到 N-Char 或接收到 Time-Code 等事件发生时;
 - 4) 在启动状态,当端口无效或断开、校验错误、转义错误、接收到 FCT、接收到 N-Char 或接收到 Time-Code 等事件发生时;
 - 5) 在启动状态,超过 12.8 μs 未能正常跳转时;
 - 6) 在连接状态,当端口无效或断开、校验错误、转义错误、接收到 N-Char 或接收到 Time-Code 等事件发生时;

- 7) 在连接状态,超过 12.8 μs 未能正常跳转时;
- 8) 在运行状态,当端口无效或断开、校验错误、转义错误或信用错误等事件发生时。
- b) 错误复位状态下,应完成下列操作:
 - 1) 开始 6.4 μs 计时;
 - 2) 清除发送使能控制位;
 - 3) 清除接收使能控制位;
 - 4) 发送信用计数器置 0;
 - 5) 接收信用计数器置 0;
 - 6) 接收到 FCT 状态指示清零;
 - 7) 丢弃未发送的 Time-Code。
- c) 错误复位状态下,下列事件发生时状态跳转:端口复位后,进入错误复位状态,并在该状态下停留 6.4 μs 以上,则跳转到错误等待状态。

5.4.4.3 错误等待状态

错误等待状态如下:

- a) 链路状态机在下列情况会跳转到错误等待状态:端口复位后,进入错误复位状态,并在该状态下停留 6.4 μs 后,则跳转到错误等待状态。
- b) 错误等待状态下,应完成下列操作:
 - 1) 开始 12.8 μs 计时;
 - 2) 清除发送使能控制位;
 - 3) 置位接收使能控制位,但不向字符层传递 N-Char 且不寄存所有 Time-Code。
- c) 错误等待状态下,下列事件发生时状态跳转:
 - 1) 端口复位后,跳转至错误复位状态;
 - 2) 端口无效发生时,跳转至错误复位状态;
 - 3) 链路断开发生时,跳转至错误复位状态;
 - 4) 校验错误发生时,跳转至错误复位状态;
 - 5) 转义错误发生时,跳转至错误复位状态;
 - 6) 接收到 FCT、N-Char 或 Time-Code 时,跳转至错误复位状态;
 - 7) 错误等待状态下,停留 12.8 μs 后,跳转至准备好状态。

5.4.4.4 准备好状态

准备好状态如下:

- a) 链路状态机在下列情况会跳转到准备好状态:错误等待状态下,停留 12.8 μs 后,跳转至准备好状态。
- b) 准备好状态下,应完成下列操作:
 - 1) 清除发送使能控制位;
 - 2) 置位接收使能控制位,但不向字符层传递 N-Char 且不寄存所有 Time-Code。
- c) 准备好状态下,下列事件发生时状态跳转:
 - 1) 端口复位后,跳转至错误复位状态;
 - 2) 端口无效发生时,跳转至错误复位状态;
 - 3) 链路断开发生时,跳转至错误复位状态;
 - 4) 校验错误发生时,跳转至错误复位状态;
 - 5) 转义错误发生时,跳转至错误复位状态;
 - 6) 接收到 FCT、N-Char 或 Time-Code 时,跳转至错误复位状态;



- 7) 链路使能、链路启动允许时,跳转至启动状态;
- 8) 链路使能、自启动允许,且接收到一个 Null 时,跳转至启动状态。

5.4.4.5 启动状态

启动状态如下:

- a) 链路状态机在下列情况会跳转到启动状态:
 - 1) 准备好状态下,链路使能、链路启动允许时,跳转至启动状态;
 - 2) 准备好状态下,自启动允许,且接收到一个 Null 时,跳转至启动状态。
- b) 启动状态下,应完成下列操作:
 - 1) 开始 12.8 μ s 计时;
 - 2) 持续发送 Null;
 - 3) 置位接收使能控制位,但不向字符层传递 N-Char 且不寄存所有 Time-Code。
- c) 启动状态下,下列事件发生时状态跳转:
 - 1) 端口复位后,跳转至错误复位状态;
 - 2) 端口无效发生时,跳转至错误复位状态;
 - 3) 链路断开发生时,跳转至错误复位状态;
 - 4) 校验错误发生时,跳转至错误复位状态;
 - 5) 转义错误发生时,跳转至错误复位状态;
 - 6) 接收到 FCT、N-Char 或 Time-Code 时,跳转至错误复位状态;
 - 7) 使能状态下,至少接收到一个 Null 且发送了一个 Null,则跳转到连接状态;
 - 8) 启动状态下,停留了 12.8 μ s 后,跳转至错误复位状态。

5.4.4.6 连接状态

连接状态如下:

- a) 链路状态机在下列情况会跳转到连接状态:启动状态下,至少接收到一个 Null 且发送了一个 Null,则跳转到连接状态。
- b) 连接状态下,应完成下列操作:
 - 1) 开始 12.8 μ s 计时;
 - 2) 发送 FCT 使能;
 - 3) 无数据字符和控制字符发送时持续发送 Null;
 - 4) 发送 FCT 和 Null;
 - 5) 置位接收使能控制位;
 - 6) 接收到 FCT 时,向字符层发送 N-Char 并寄存接收到的 Time-Code。
- c) 连接状态下,下列事件发生时状态跳转:
 - 1) 端口复位后,跳转至错误复位状态;
 - 2) 端口无效发生时,跳转至错误复位状态;
 - 3) 链路断开发生时,跳转至错误复位状态;
 - 4) 校验错误发生时,跳转至错误复位状态;
 - 5) 转义错误发生时,跳转至错误复位状态;
 - 6) 在使能状态下,至少发送了一个 FCT 且接收到了一个 FCT,则跳转到运行状态;
 - 7) 在未发送 FCT 时接收到 N-Char 或 Time-Code 时,跳转至错误复位状态;
 - 8) 连接状态下,停留了 12.8 μ s 后,跳转至错误复位状态。

5.4.4.7 运行状态

运行状态如下:

- a) 链路状态机在下列情况会跳转到连接状态:连接状态下,至少发送了一个 FCT 且接收到了一个 FCT,则跳转到运行状态。
- b) 连接状态下,应完成下列操作:
 - 1) 发送 FCT、N-Char 和 Time-Code 使能;
 - 2) 无数据字符和控制字符发送时持续发送 Null;
 - 3) 置位接收使能控制位;
 - 4) 发送 N-Char 和 Time-Code 到字符层;
 - 5) 将接收到的 Time-Code 发送至网络层。
- c) 连接状态下,下列事件发生时状态跳转:
 - 1) 端口复位后,跳转至错误复位状态;
 - 2) 端口无效发生时,跳转至错误复位状态;
 - 3) 链路断开发生时,跳转至错误复位状态;
 - 4) 校验错误发生时,跳转至错误复位状态;
 - 5) 转义错误发生时,跳转至错误复位状态;
 - 6) 信用错误发生时,跳转至错误复位状态。

5.4.5 链路初始化

根据 5.4.4 链路状态机的运行机制,链路初始化的过程说明如表 5 和图 17 所示,其中 A 端和 B 端分别为链路的两端。

表 5 链路初始化过程示例表

链路 A 端状态	链路 B 端状态	状态跳转事件
错误复位	错误复位	A 端 6.4 μ s 超时,跳转至错误等待状态
错误等待	错误复位	B 端 6.4 μ s 超时,跳转至错误等待状态
错误等待	错误等待	A 端 12.8 μ s 超时,跳转至准备好状态
准备好	错误等待	A 端链路使能,跳转至启动状态
启动 发送 Null	错误等待	B 端检测到 A 端发送的 Null,并置位 Null 接收标识位,无状态跳转
启动 发送 Null	错误等待	B 端均 12.8 μ s 超时,跳转至准备好状态
启动 发送 Null	准备好	B 端链路使能,跳转至启动状态
启动 发送 Null	启动 发送 Null	B 端发送一个 Null,之前 Null 接收标识已置位,因此跳转至连接状态
启动 发送 Null	连接状态	A 端检测到 B 端发送的 Null,跳转至连接状态 B 端发送 FCT 和 Null(无其他字符需要发送时)
连接状态	连接状态	A 端发送 FCT 和 Null(无其他字符需要发送时) B 端发送 FCT 和 Null(无其他字符需要发送时) A 端接收到一个 FCT,跳转至运行状态
运行状态	连接状态	A 端发送 FCT、N-Char 和 Null B 端接收到一个 FCT,跳转至运行状态
运行状态	运行状态	A、B 两端均进行运行状态,正常发送 N-Char、FCT、和 Null

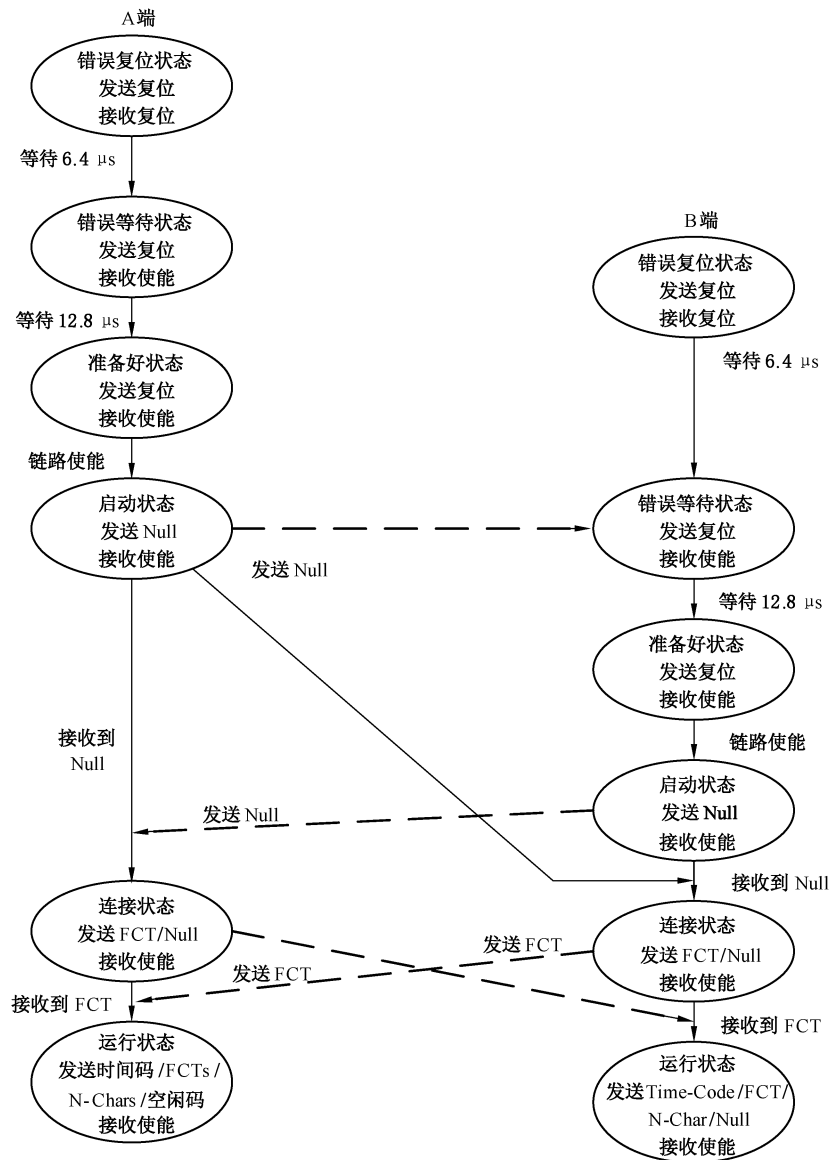


图 17 链路初始化过程示意图

链路端口复位后进入检错复位状态,对发送器和接收器进行复位。发送复位时,先停止发送,之后先复位 S 信号再复位 D 信号。

链路端口在检错复位状态保持约 6.4 μs 后转至错误等待状态,此时,链路发送器仍为禁止状态,链路接收器开始检测 Null。

链路端口在错误等待状态保持 12.8 μs 后转至准备好状态。

当链路两端均接收到 Null 后,链路即建立。链路建立后,链路端口即可从准备好状态转至启动状态。

链路端口在启动状态时,发送器持续发送 Null,直到链路接收器接收到链路另一端发送的 Null 或者发生连接超时错误。若接收到 Null,则转至连接状态;若 12.8 μs 内未接收到 Null,则转至检错复位状态,链路端口进行复位操作(依次进入检错复位状态,错误等待状态,准备好状态)试图在短时间内重新建立连接。

链路端口在连接状态发送 FCT 和 Null(无其他字符需要发送时)然后等待接收 FCT。若接收到 FCT 则转至运行状态;若 12.8 μs 内未接收到 FCT,则转至检错复位状态,链路端口进行复位操作(依次

进入检错复位状态,错误等待状态,准备好状态)试图在短时间内重新建立连接。

链路端口进入运行状态后即可开始常规操作,发送和接收 N-Char、FCT 和 Null,并一直维持在运行状态直到链路禁止或关闭。

5.4.6 差错检测

5.4.6.1 差错类型

有 5 种形式的接收错误可以在交换层检测和处理,分别是连接错误、校验错误、转义错误、信用错误和字符序列错误。检测到错误后将复位初始化字符同步和流控制进程。

5.4.6.2 连接错误

如果超过 850 ns 仍未接收到 D 信号或 S 信号,接收端则检测到连接错误。当发生连接错误时,链路两端的设备均会不停地尝试与对方再建立链接,直到链接成功或是端口被禁止。

5.4.6.3 校验错误

收到校验位后将进行校验计算,如果校验错误在收到第一个 Null 之后,链路接口将复位初始化字符同步和流控制进程。

5.4.6.4 转义错误

转义错误是指在除 FCT 之外的其他控制字符之后收到了 ESC,此时链路接口将复位初始化字符同步和流控制进程。

5.4.6.5 信用错误

信用错误是指在运行状态下,在错误的时刻接收到了 N-Char,此时链路接口将复位初始化字符同步和流控制进程。

5.4.6.6 字符序列错误

字符序列错误是指在链路接口初始化的过程中在错误的时刻接收到了 FCT 或 N-Char 字符,此时链路接口将复位初始化字符同步和流控制进程。

5.4.6.7 时间误差约定

5.4.6.7.1 D 信号、S 信号复位时间

D 信号和 S 信号的复位时间应在 $555\text{ ns}[2(1-10\%)\text{MHz 的时钟周期}]$ 到链路发送器的最短时钟周期(根据实际应用)。

5.4.6.7.2 连接超时

连接超时的 850 ns 应在 $727\text{ ns}[8\text{ 个 }10(1+10\%)\text{MHz 的时钟周期}] \sim 1\,000\text{ ns}[8\text{ 个 }10(1-10\%)\text{MHz 的时钟周期}]$ 之间判断。

5.4.6.7.3 初始化超时

$6.4\text{ }\mu\text{s}$ 超时应在 $5.82\text{ }\mu\text{s}[64\text{ 个 }10(1+10\%)\text{MHz 的时钟周期}] \sim 7.22\text{ }\mu\text{s}[64\text{ 个 }10(1-10\%)\text{MHz 的时钟周期}]$ 之间判断。

$12.8\text{ }\mu\text{s}$ 超时应在 $11.64\text{ }\mu\text{s}[128\text{ 个 }10(1+10\%)\text{MHz 的时钟周期}] \sim 14.33\text{ }\mu\text{s}[128\text{ 个 }10(1-10\%)\text{MHz 的时钟周期}]$ 之间判断。

5.5 包层

5.5.1 包的定义

包层协议继承了 IEEE 1355—1995 定义的组包层协议,规定了源端到宿端的数据包格式。SpaceWire 传输包格式如图 18 所示。

目的地址
传送的数据
包结束标识

图 18 SpaceWire 包格式

其中目的地址由 0 个或多个目的识别符(记为 dest_id)构成,即:

〈目的地址〉=〈dest_id1〉〈 dest_id2〉 0〈dest_idN〉

每个目的标识符包含一个数据字节且目的标识符之间不应被分割。

包结束标识有两个:EOP 和 EEP,分别表示此传输包正确或异常结束。

5.5.2 CCSDS 包在 SpaceWire 网络上的传输

5.5.2.1 CCSDS 包

SpaceWire 总线协议包含若干从属协议,CCSDS 包传输协议为其中之一,对航天器中常用的 CCSDS 数据包在 SpaceWire 总线上的传输格式进行了定义。

5.5.2.2 包长度

包长度为 7 字节~65 542 字节。

5.5.2.3 CCSDS 包的 SpaceWire 网络传输格式

在 SpaceWire 网络上传输的 CCSDS 包格式如图 19 所示。

传输首字节			
	目的地址1	目的地址 <i>n</i>
目标逻辑地址	协议标识	保留=0x00	用户定义
CCSDS 包(首字节)	CCSDS 包	CCSDS 包	CCSDS 包
CCSDS 包	CCSDS 包
CCSDS 包	CCSDS 包(尾字节)	EOP	
传输尾字节			

图 19 SpaceWire 网络上的 CCSDS 包传输格式

5.6 网络层

5.6.1 基本特性

5.6.1.1 包

SpaceWire 总线网络中,数据被分割成包传输。数据包是网络层数据的最小管理单位,包由目的地

址、传送的数据及包结束标识组成,详见 5.5.1。

5.6.1.2 流控制

SpaceWire 总线网络使用流控制管理数据包从一个节点或路由器流向另一个节点或路由器,节点或路由器在接收缓存未满时向源设备发出 FCT 字符接收数据包,否则暂停数据包的接收,详见 5.4.3。

5.6.1.3 虫洞路由

虫洞路由是一种特定的包路由方式,包头的目的地址指示了包在网络中的传输路径及目的节点,路由交换机通过检测包目的地址选定包输出的端口,并将该端口标识为“忙状态”直到整包传输完成。虫洞路由的过程如图 20 所示。

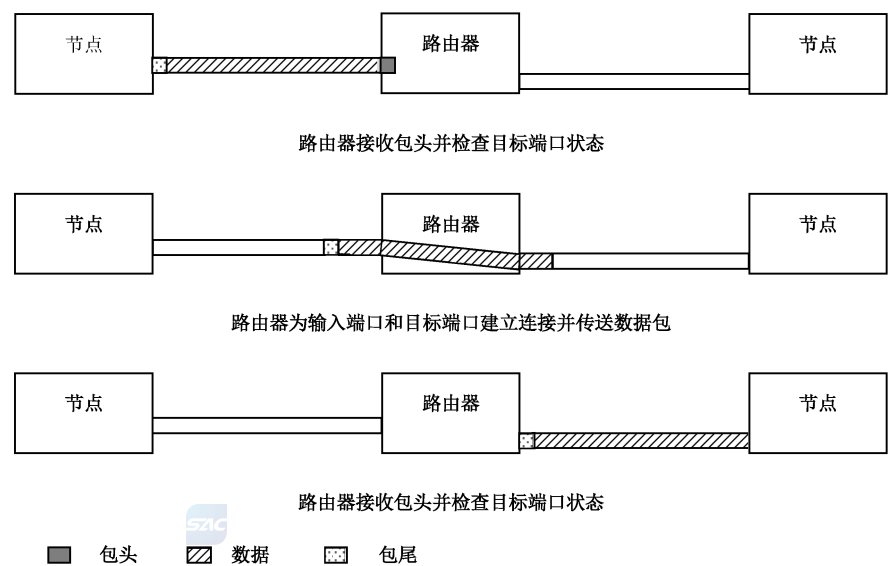


图 20 虫洞路由示意图

5.6.1.4 头删除

头删除是指在路由之后将包的第一个字符删除。

5.6.1.5 包寻址

5.6.1.5.1 路径寻址

路径寻址是按照路由器的物理端口进行寻址,路由器配合使用包头删除技术,源节点在打包数据时确定数据包的传输路径,当数据包经过多个路由器传输时,目标地址变长,包头的复杂度由数据包的发送源和接收目标在网络中的位置决定。

5.6.1.5.2 逻辑寻址

逻辑寻址方式下,为路由器的每个物理端口分配一个唯一的逻辑地址,为每个路由器配一个路由表。当数据包在网络中传输时,目标地址只需要一个逻辑地址表示,不需要进行包头删除操作。当网络达到一定规模后,路由表就变得相当大,并且路由表的初始建立和修改维护都很复杂。逻辑寻址中,数据包的传输路径由路由表中逻辑地址与物理端口的映射关系决定。

5.6.1.5.3 区域逻辑寻址

区域逻辑寻址,将 SpaceWire 网络划分成若干区域,区域内部使用逻辑寻址方式,区域之间使用路径寻址方式。该寻址方式下,逻辑地址可以进行包头删除操作,路由表中为每个逻辑地址增加标识包头删除/保留的信息,大大增加了逻辑寻址的范围。

5.6.1.6 路由表

路由表用于将包前端的目的地址映射为传输的物理端口,路由地址的分配如表 6 所示。

表 6 路由地址

地址范围	功能描述
0	内部配置口
1~31(01-1Fh)	物理输出口
32~254(20-FEh)	逻辑地址,映射到物理输出口
255(FFh)	保留

5.6.2 SpaceWire 路由

5.6.2.1 路由方案

路由方案要求如下:

- a) 路由器应根据包的首个数据字符判定包输出口;
- b) 路由器可以只实行路径寻址方式,或是实行路径寻址、逻辑寻址、区域逻辑寻址组合方式;
- c) 如果使用逻辑寻址,路由器中应同时存有路由表和逻辑-物理地址映射表;
- d) 访问空的路由表或是不存在的物理端口,应给出无效地址错误指示;
- e) 逻辑地址的最大寻址个数为 224;
- f) 区域逻辑寻址方式下,每个区域的逻辑地址最大寻址个数为 224;
- g) 路径寻址的最大端口数为 32(含配置端口);
- h) 配置端口只应通过路径寻址方式访问;
- i) 应用头删除时,每个包的首数据字符均应被删除,且每经过一个路由器仅删除一个数据字符;
- j) 逻辑地址的 255 为保留地址,不应使用。

5.6.2.2 虫洞路由

虫洞路由要求如下:

- a) 当包抵达一个路由开关时,应判决其指定的输出口;
 - b) 如果输出口空闲则应分配给新到达的包;
 - c) 包的每个字符被输入口接收后均应立即传输到输出口;
 - d) 输出口在当前包传输完成或发生错误终止前,不应传输其他包;
 - e) 当输入口在等待包的后续字符时,输出口仍应等待;
 - f) 当输出口的字符还在等待传输,输入口也应等待;
 - g) 如果指定输出口忙,新抵达的包应在输入口等待直到输出口空闲;
 - h) 在输出口结束了当前包的传输之后,可接收其他输入口的包;
- 为了避免网络阻塞,宜:



- i) 将大包拆分成若干小包,例如将图像数据按扫描行拆分;
- j) 采用端到端的流控制机制,以确保传输时接收端空闲;
- k) 当阻塞时间超出了可承受的范围,可能发生了错误,设置看门狗进行检测并丢弃阻塞的包。

5.6.2.3 路由仲裁

路由仲裁要求如下:

- a) 两个或更多的输入可以请求同一个输出端口,路由器应给出仲裁办法;
- b) 当被请求的输出端口空闲时,路由器应通过仲裁将其分配给一个输入端口进行包传输;
- c) 多个输入端口等待使用一个输出端口时,该输出端口当前包传输结束后应对多个输入端口进行仲裁。

5.6.3 SpaceWire 节点

SpaceWire 节点要求如下:

- a) 一个 SpaceWire 节点应包含一个或多个 SpaceWire 链路接口及一个主系统接口;
- b) 一个 SpaceWire 节点应从主系统接收包流并向 SpaceWire 链路发送,或从 SpaceWire 链路接收包流发送给主机,或是上述两个流程同时进行。

5.6.4 SpaceWire 网络

SpaceWire 网络要求如下:

- a) 一个 SpaceWire 网络应包含两个或多个 SpaceWire 节点及零个或多个 SpaceWire 路由器;
- b) SpaceWire 节点和 SpaceWire 路由器之间应通过 SpaceWire 链路连接;
- c) 包从一个 SpaceWire 节点传输到另一个 SpaceWire 节点,应经过 SpaceWire 链路或者 SpaceWire 路由器;
- d) SpaceWire 节点和 SpaceWire 路由器可通过 RMAP 指令进行远程访问和控制,RMAP 协议为 SpaceWire 从属协议。

5.6.5 网络时间

5.6.5.1 时间码格式

SpaceWire 时间码由一个 ESC 字符和一个数据字符组成,数据字符由 6 位计时器和 2 个控制位组成。

5.6.5.2 主时间

SpaceWire 网络中仅有一个 SpaceWire 端口被允许向网络广播时间码,时间码由与之连接的主机系统产生。

5.6.5.3 计时机制

SpaceWire 网络中,每个节点或路由设备均含有一个计时器以保存时间码中的 6 位时间信息,其值从 0~63 循环。其中,时间主机系统周期性发出计时信号,与之连接的 SpaceWire 端口每收到一个计时信号计时器加 1,并作为新的时间码发出;其他节点或路由器,在新到达的时间码比节点和路由器的计时器的当前值大 1 时视作有效,取代当前值并被广播。

5.6.5.4 时间码在链路上传输

当 SpaceWire 链路的一端周期性地发出有效的的时间码时,链路另一端的 SpaceWire 接口接收时间码、检查其有效性、更新计时器的值,如果接收到的时间码无效则忽略。

5.6.5.5 时间码在网络上的分发

主时间 SpaceWire 端口在接收到有效的计时信号后,将计时器的值加 1 作为新的时间码发出。与时间主机连接的节点或路由设备接收到时间码后,对其有效性进行检测,如果新的时间码的时间值比设备计时器中的值大 1 则认为新的时间码有效,节点或路由设备向连接的其他链路发出时间码。如果设备接收到的时间码的时间值无效,则该时间码会被忽略且不会被再发送。如此传送,直到网络中所有设备的时间码均更新。

5.6.5.6 时间码丢失

如果时间码在传输的过程中丢失,网络中的部分节点或路由设备的计时器在本次校时中无法更新。下次校时过程中,未成功校时节点或路由设备会用新的时间码更新计时器,但不会发送新的时间码。如此,SpaceWire 网络再经过若干次的校时后便会统一时间消除时间码丢失的影响,所需的校时次数由网络的规模和时间码丢失的位置决定。

6 故障恢复机制

6.1 交换层故障及处理

6.1.1 交换层故障类型

交换层故障类型如下:

- a) 断开错误;
- b) 校验错误;
- c) 转义序列错误;
- d) 字符序列错误;
- e) 信用错误。

6.1.2 交换层故障处理

交换层故障处理如下:

- a) 检测故障;
- b) 断开链接;
- c) 错误报送网络层;
- d) 链接端口使用时尝试重新建立链路。

6.2 网络层故障及处理

6.2.1 链接错误处理

若在链路端口检测到链接错误应在网络层对该错误进行恢复:

- a) 错误报送网络层;
- b) 终止当前包的接收;
- c) 丢弃当前包直至接收到下一个 EOP 或 EEP;
- d) 若错误发生在源或目的节点的某个链路接口,则应将错误报送应用层;
- e) 若错误发生在路由器的某个链路接口,则应通过设置状态寄存器或硬件接口指示该错误。

6.2.2 接收到包错误结束字符处理

接收到包错误结束字符(EEP)处理方式如下:

- a) SpaceWire 路由器对 EOP 和 EEP 同等处理,均应当作包结束标识,释放输出端口;
- b) SpaceWire 节点接收到 EEP 应通知应用层处理。

6.2.3 无效目的地址处理

无效目的地址处理方式如下:

- a) 路由器接收到无效目的地址后丢弃该包,直到接收到 EOP 或 EEP 后认为该无效包结束;
- b) 节点接收到无效目的地址后丢弃该包并通知主机;
- c) 在 EOP 或 EEP 之后紧接着又收到一个 EOP 或 EEP,则认为接收到一个没有目的地址的空包,路由器删除后一个 EOP 或 EEP 以丢弃该包。

6.3 链路错误恢复

当链路接口检测错误并进行恢复的过程如下:

- a) 发现错误(断开错误,校验错误,转义序列错误,字符序列错误,信用错误);
- b) 断开链路;
- c) 若断开前的 N-Char 不是 EOP,则向接收缓存写入一个 EEP;
- d) 若发现错误时正在发送一个包,则丢弃该包剩下的部分,读发送 FIFO 并丢弃读出的 N-Char,直到读到一个 EOP 或 EEP 并丢弃;
- e) 重新连接;
- f) 发送后续包。

详见图 21。

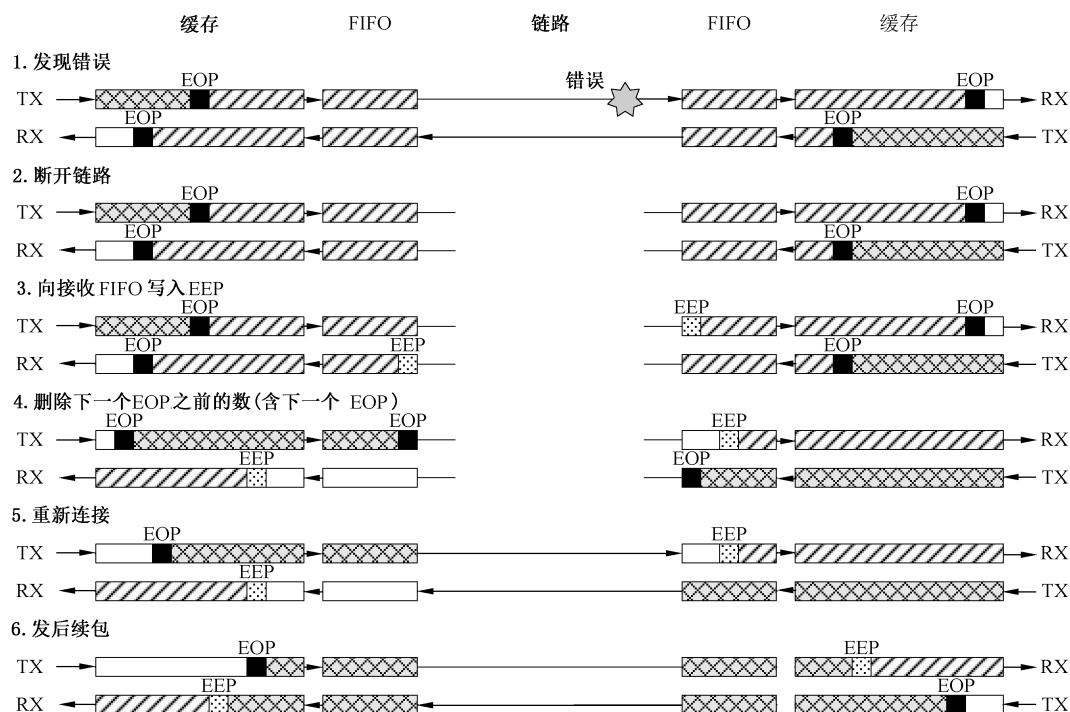


图 21 链路错误恢复处理过程

6.4 应用层故障处理

6.4.1 应用层约定

应用层协议由用户自行定义。下述故障需在应用层检测和处理,处理建议见 6.4.2~6.4.4。

6.4.2 链路初始化超时故障处理

当一个应用试图打开一个链路时,可为链路连接设置一个超时时间。若在设定时间内未能建立连接,则可认定此链路为不可用链路并切换链路。

6.4.3 包传输超时故障处理

当一个应用试图向一个链路接口写包时,可为包传输设置一个超时时间。若在设定时间内包未传输完成,则认定该链路接口阻塞。禁止该链路接口以产生一个断开错误并复位链路,然后再准许该链路接口启动并重新建立链接。

6.4.4 包接收超时故障处理

当一个应用试图向一个链路接口读包时,可为包接收设置一个超时时间。若在设定时间内包未接收完成,则认定该链路接口阻塞。禁止该链路接口以产生一个断开错误并复位链路,然后再准许该链路接口启动并重新建立链接。

7 典型应用

7.1 系统设计

图 22 为 SpaceWire 总线网络典型框图。

SpaceWire 总线网络中的路由器可采用 IP 核或专用芯片,实现各层协议、数据包路由等功能,并提供与路由器、节点连接的链路接口及与主机连接的接口。

SpaceWire 总线网络中的节点可采用 IP 核或专用芯片,实现各层协议、数据包的源起和接收等功能,并提供与节点、路由器连接的链路接口及与控制器连接的接口。

路由器、节点间的链路的物理介质由 SpaceWire 电缆和接插件组成,实现设备间的连接和通信,接插件统一为设备均采用同规格 9 芯插座、电缆均采用同规格 9 芯插针,电缆采用接点 3 互连的方式。为保证数据传输的可靠性,SpaceWire 电缆两端的设备需要良好共地。

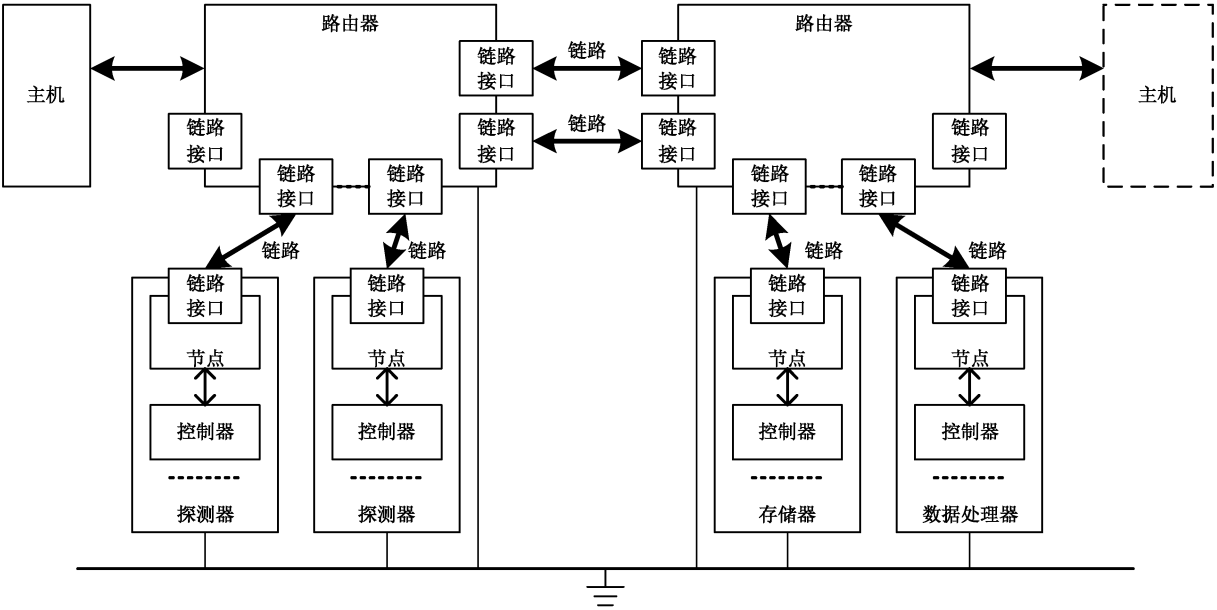


图 22 SpaceWire 总线网络典型框图

7.2 工艺设计

7.2.1 PCB 设计

PCB 设计中应对差分线进行约束和控制,设计准则和要求如图 23 所示:

- 应减少差分线上的过孔数量;
- 差分线对之间应保持距离;
- 差分线走线应进行等长约束,两根信号线的走线长度误差应小于走线长度的 5%或小于 5 mm;
- D 信号差分对和 S 信号差分对走线应进行等长约束,两对线的走线长度误差应小于走线长度的 5%或小于 5 mm;
- 差分线应做 $(100\pm 6)\Omega$ 阻抗控制。

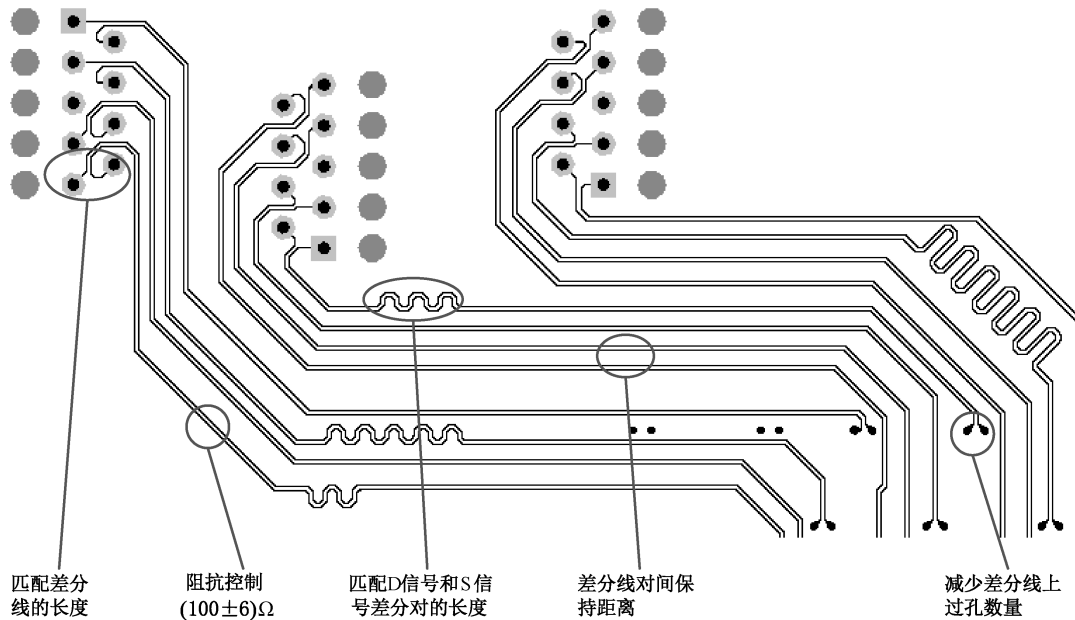


图 23 差分线的 PCB 设计措施

7.2.2 连接器焊接

SpaceWire 总线连接器为飞线型,为了加强信号的抗干扰性,在连接器焊接时应满足以下要求:

- 将连接器的压接飞线的部分内外保护套、内外屏蔽层进行剥离,使用导线将 4、8 或 9、5 差分线对的内屏蔽层引出;
- 使用套管对飞线的内、外层分别防护,注意内屏蔽层和外屏蔽层的隔离;
- 飞线修剪等长,4 对双绞线保持原先的双绞状态,在焊点处分开焊接;
- 4、8 或 9、5 差分线对内屏蔽层引出的导线焊接到印制板的二次地上;
- 单根飞线孔径不小于 $\phi 1.219\text{ mm}$ 。

7.3 结构设计

SpaceWire 总线接插件一般带有 EMC 尾罩,印制板结构设计应考虑尾罩的尺寸,为尾罩留出足够的放置空间。接插件的焊盘位置应方便飞线的走线和固定,避免飞线与器件干涉。

需要散热的芯片,结构件设计时应考虑散热片的安装方式及安装固定位置。