

中国指挥与控制学会

中国指挥与控制学会

公告

中国指挥与控制学会根据《中国指挥与控制学会团体标准管理办法》规定，对中国指挥与控制学会航天指挥控制专业委员会负责的《100Mbps 数字式时分制命令/响应型多余度数据传输总线》《多余度同步交换网络》等两项团体标准进行了立项、征求意见、评审等工作。将在全国团体标准信息平台上进行发布。现予以公告，公告期为 10 天，联系方式: cicc-tb@c2.org.cn。

具体内容见附件 1-附件 2。

特此公告



ICS 49.060
CCSL70

T/CICC

中国指挥控制学会团体标准

T/CICC 45001-2025

100Mbps数字式时分制命令/响应型多余度
数据传输总线

100Mbps Digital Time-Division Command-Response Redundant Data
Transmission Bus

2025-06-30 发布

2025-06-30 实施

中国指挥与控制学会 发布

目 次

- 前 言 IV
- 1 范围 1
- 2 规范性引用文件 1
- 3 术语和定义、缩略语 2
 - 3.1 术语和定义 2
 - 3.2 缩略语 5
- 4 100M数据传输总线架构 8
 - 4.1 总线通信要求 8
 - 4.2 协议层次要求 8
 - 4.3 100M数据传输总线拓扑结构 8
 - 4.3.1 基本拓扑结构 8
 - 4.3.2 双余度线型拓扑结构 8
 - 4.3.3 多余度拓扑 9
 - 4.3.4 中继拓扑 9
- 5 物理层 9
 - 5.1.1 RS485电气标准 9
 - 5.1.2 M-LVDS电气特性 11
 - 5.2 调制编码 12
 - 5.2.1 曼彻斯特II型编码 12
 - 5.2.2 8B/9B编码 13
- 6 数据链路层 19
 - 6.1 协议架构 19
 - 6.1.1 通用服务 19
 - 6.1.2 数据链路层服务体系 19
 - 6.1.3 协议接口规范 20
 - 6.2 帧间距与空闲状态 20
 - 6.2.1 帧间距规范 20
 - 6.2.2 时间范围规范 20
 - 6.2.3 配置与应用规则 20
 - 6.2.4 帧间距数据要求 20
 - 6.3 帧定界 20
 - 6.3.1 帧定界格式 20
 - 6.3.2 字节序 20
 - 6.3.3 位序 21
 - 6.3.4 前导码 21
 - 6.3.5 帧起始 21
 - 6.3.6 帧结束 22
 - 6.4 报文格式要求 22
 - 6.4.1 报文定义 22
 - 6.4.2 字段详解 23

6.5 地址识别	28
6.5.1 终端	28
6.5.2 寻址	29
6.5.3 单播	29
6.5.4 组播	29
6.5.5 广播	29
6.6 冗余处理	29
6.6.1 帧复制	29
6.6.2 帧消除	30
6.6.3 帧唯一性	30
7 网络层	31
7.1 命令响应过程	31
7.1.1 基本通信过程	31
7.1.2 多帧通信过程	31
7.1.3 基本重传过程	32
7.1.4 多帧重传过程	33
7.1.5 强制重传过程	35
7.2 基本消息	36
7.2.1 基本消息类型	36
7.2.2 BC-RT消息 (CMD=0x0)	36
7.2.3 BC-RT-B广播消息 (CMD=0x0)	37
7.2.4 RT-BC消息 (CMD=0x1)	37
7.2.5 RT-RT消息 (CMD=0x2/0x12)	37
7.2.6 RT-RT-B广播消息 (CMD=0x2/0x12)	38
7.2.7 RT-RTD消息 (CMD=0x4)	39
7.2.8 RT-RTD-B广播消息CMD=0x4	39
7.3 模式消息	39
7.3.1 模式消息类型	39
7.3.2 mBC模式消息 (CMD=0xA)	40
7.3.3 mGBC消息 (CMD=0xB)	40
7.3.4 mTS消息 (CMD=0xC)	40
7.3.5 mSNMP消息 (CMD=0xD)	41
7.3.6 mVWQ消息 (CMD=0xE)	41
7.4 消息唯一性	41
7.4.1 消息唯一性标识	41
7.4.2 消息去冗余	42
8 传输层	42
8.1 总线调度	42
8.1.1 总线角色	42
8.1.2 总线基本周期	42
8.1.3 总线调度	42
8.1.4 单周期消息与多周期消息	44
8.1.5 消息相位	44
8.1.6 动态带宽管理	44
8.2 总线运行	45

- 8.2.1 总线基本周期控制 45
 - 8.2.2 总线授权 46
 - 8.2.3 总线保护带 49
 - 8.2.4 矢量字查询 49
- 9 应用层 52
 - 9.1 时间同步与延迟测量 52
 - 9.1.1 报文格式要求 52
 - 9.1.2 时间同步过程 53
 - 9.1.3 终端操作流程 54
 - 9.2 网络管理 55
 - 9.2.1 网络管理过程 55
 - 9.2.2 寄存器写 57
 - 9.2.3 寄存器读 60
 - 9.3 数据服务类型 64
 - 9.3.1 队列端口 64
 - 9.3.2 采样端口 65
 - 9.3.3 服务访问点端口 66

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范》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。

本文件由北京中航通用科技有限公司提出。由中国指挥与控制学会归口。

本文件起草单位：北京中航通用科技有限公司、航空工业成都飞机工业(集团)有限责任公司、北京计算机技术及应用研究所、中国兵器工业集团航空弹药研究院有限公司、武汉数字工程研究所、华北计算技术研究所、哈尔滨工业大学、电子科技大学、北京理工大学、沈阳工业大学、北京旋极信息技术股份有限公司、凯云联创(北京)科技有限公司。

本文件主要起草人：杨水华、赵越、郑云龙、严杰、于峰、王晓光、石磊、鄢楚平、蒋斌、宋法质、唐樟春、冯恒振、南金瑞、张贺、黎明、赵平、彭时涛、陈策。

100Mbps数字式时分制命令/响应型多余度数据传输总线

1 范围

本文件规定 100Mbps 数字式时分制命令/响应型多余度数据传输总线(以下简称 100M 数据传输总线)及其接口电子设备的技术要求,明确了总线的工作原理、信息流特征及电气与功能格式规范,对物理层、数据链路层、网络层、传输层及应用服务层进行了系统性规定。

本文件适用于 100Mbps 数字式时分制命令/响应型多余度数据总线相关装置与系统的设计、开发和应用场景。

2 规范性引用文件

下列文件中的有关条款通过引用而成为本文件的条款。凡注日期或版次的引用文件,其后的任何修改单(不包含勘误的内容)或修订版本都不适用于本文件,但提倡使用本文件的各方探讨使用其最新版本的可能性。凡不注日期或版次的引用文件,其最新版本适用于本文件。

GB/T 9387(所有部分) 信息技术 开放系统互连基本参考模型

GB/T 15126-2021 《信息处理系统 数据链路层服务定义》

GB/T 16264.3-2019 《信息技术 开放系统互连 网络服务定义》

GB/T 16681-2022 《信息技术 开放系统互连 数据链路层服务定义》

GB/T 17173.1-1997 《信息技术 开放系统互连 网络层安全协议》

GB/T 17176.3-1997 《信息技术 开放系统互连 数据链路层帧和差错控制》

GB/T 18015.5-2017 《数字通信用对绞/星绞多芯对称电缆》

GB/T 20540-2006 《信息技术 系统间远程通信和信息交换 高速以太网层协议规范》

GB/T 21645-2008 《信息技术 系统间远程通信和信息交换 以太网物理层和数据链路层规范》

GB/T 20830-2006 《信息技术 系统间远程通信和信息交换 局域网和城域网 特殊要求 第 30 部分: 宽带无线接入系统的媒体接入控制(MAC)和物理层(PHY)规范》

GB/T 30271-2013 《数字通信系统校验技术规范》

GB/T 30276-2013 《数字通信系统 优先级调度技术要求》

GJB 151B-2013 《军用设备和分系统 电磁发射和敏感度要求与测量》

GJB 289A-1997 数字式时分制指令/响应型多路传输数据网络

GJB 599B-2012 《耐环境快速分离高密度小圆形电连接器规范》

GJB 1427A-1999 《光纤总规范》

GJB 6410.1-2008 光纤通道 物理和信号接口 第 1 部分: FC-PH

GJB 6410.2-2008 光纤通道 物理和信号接口 第 2 部分: FC-PH-2

GJB 6410.3-2008 光纤通道 物理和信号接口 第 3 部分: FC-PH-3

IEEE 802.3-2022 《IEEE Standard for Ethernet – Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection (CSMA/CD) Access Method and Physical Layer Specifications》《以太网

标准：带碰撞检测的载波侦听多址访问(CSMA/CD)访问方法及物理层规范》

ISO/IEC8802-3 信息技术 系统间通信和信息交换 局域网和城域网 特殊要求 第3部分：带碰撞检测的载波侦听多址访问 (CSMA/CD)的访问方法和物理层规范 (Information technology-Telecommunications and information exchange between systems — Local and metropolitan area networks — Specific requirements — Part3 : Carrier sense multiple access with collision detection (CSMA /CD) access method and physical layer specifications)

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

100Mbps 数字式时分制命令/响应多余度数据传输总线

100Mbps 数字式时分制命令/响应多余度数据传输总线，简称 100M 数据传输总线，基于 RS485 或 M-LVDS 作为物理层，采用命令/响应消息调度方式的串行通行总线。

3.1.2

终端 Terminal

终端是使数据总线与子系统相接口的电子组件。

注：在总线系统中它可以是总线控制器、远程终端或总线监视器。终端既可以是独立存在外场可更换组件，也可包含在子系统中。

[来源：GBJ289A, 3.14]

3.1.3

总线控制器 Bus Controller (BC)

总线控制器是总线系统中组织信息传输的终端。

[来源：GBJ289A, 3.15]

3.1.4

授权总线控制器 Grant Bus Controller (GBC)

由总线控制器通过 mGBC 消息授权具备总线调度能力的 RT 终端。

3.1.5

远程终端 Remote Terminal (RT)

远程终端是总线系统中不作为总线控制器或总线监视器的所有终端。

[来源：GBJ289A, 3.17]

3.1.6

数据总线 Data Bus

数据总线(简称总线)是指在各终端之间提供一路单一数据通信所需要包含的双绞线、隔离电阻等

在内的所有硬件。

3.1.7

冗余数据总线 Redundant Data Bus

使用一路以上的数据总线，从而在子系统间提供一路以上的数据传送通路。

[来源：GBJ289A, 3.20]

3.1.8

周期 Cycle

重复并连续执行一系列命令或动作的时间间隔。

[来源：GB/T 20830, 3.1.2.5]。

3.1.9

消息 Message

包括一个命令帧、一个响应帧(或多帧中的多个命令帧、多个响应帧)组成的传输序列。

3.1.10

半双工 Half Duplex

在总线系统在总线上的操作，只能沿任何一个方向进行，不能同时沿两个方向进行。

[来源：GBJ289A, 3.7]

3.1.11

命令响应 Command/Response

总线系统的操作方式，仅当总线控制器发出命令时，远程终端才作出响应。即接收或发送规定字数的数据或完成预先定义的某种特点操作。

[来源：GBJ289A, 3.8]

3.1.12

数据帧 Data Frame

数据链路层中传输的基本数据单元，具有固定的字段，包含数据传输所需的定界信息、有效载荷及校验字段。

3.1.13

总线调度 Bus Schedule

管理总线设备终端对总线的访问权，决定终端使用总线的顺序和时间的方法。

3.1.14

8B/9B 编码 8B/9B Encoding

是一种将 8 位数据编码成 9 位符号的编码方式。

3.1.15

余度总线 Redundant Bus

使用一路以上的数据总线，从而在子系统间提供一路以上的数据传送通路。

[来源：GJB 289A-1997, 3.20]

3.1.16**周期 Cycle**

重复并连续执行一系列命令或动作的时间间隔。

[来源：GB/T 20830, 3.1.2.5]。

3.1.17**消息 Message**

包括一个命令帧、一个响应帧(或多帧中的多个命令帧、多个响应帧)组成的传输序列。

3.1.18**数据帧 Data Frame**

数据链路层中传输的基本数据单元，具有固定的字段结构，包含数据传输所需的定界信息、有效载荷及校验字段。

3.1.19**最大传输单元 Maximum Transmission Unit (MTU)**

指总线中数据链路层允许传输的最大数据包大小(以字节为单位)。它决定了一次总线传输中所能承载的最大数据量，是总线通信中的关键参数。

3.1.20**总线调度 Bus Schedule**

管理总线设备终端对总线的访问权，决定终端使用总线的顺序和时间的方法。

3.1.21**调度表 Schedule Table**

用于描述 100M 数据传输总线中数据传输顺序和时间的机制。

3.1.22**寄存器**

存储总线配置参数、运行状态的存储单元。寄存器值可由软件写入、读取或由总线进行更新。

3.1.23**双余度拓扑**

每个总线终端通过两条独立物理路径的拓扑结构，通过帧复制与帧消除机制保障数据可靠性。

3.1.24**帧间距 Inter Frame Gap**

相邻数据帧之间的最小时间间隔，单位为纳秒(ns)，用于确保接收端完成帧解析与缓冲处理。

3.1.25

帧校验序列 Frame Check Sequence

基于 CRC-32 算法的 32 位校验码，用于保障报文传输完整性，覆盖首部与有效载荷。

3.1.26

帧唯一标识 Unique Frame Indicator

由命令序号、源地址、响应标识等字段组成的 46 位序列，用于识别冗余帧并执行去重处理。

3.1.27

矢量字 Vector Word

通过比特映射标识总线终端(RT)子地址(SA)缓冲区数据状态的二进制序列，1 表示有数据待发送，0 表示无数据。

3.1.28

总线周期保护带 Bus Cycle Protection Zone

当前总线周期结束前预留的静默时间窗口，确保下一周期起始消息(mBC)准时广播，避免时序混乱。

3.1.29

动态带宽管理 Dynamic Bandwidth Management

通过矢量字查询(mVWQ)与周期低优先级(PL)调度循环机制，实现总线剩余带宽的动态分配。

3.1.30

时间同步主设备 TimeSync Master

在主从式时间同步机制中，负责发起时间同步消息(mTS)并校准从设备时钟的总线终端(如 BC)

3.1.31

队列服务 Queuing Server

采用先进先出(FIFO)规则管理数据队列的应用接口，支持多帧传输与缓冲区溢出处理。

3.1.32

采样服务 Sampling Server

采用循环覆盖规则管理数据的应用接口，通过刷新标记(RF)标识数据更新状态。

3.2 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

BC-RT	总线控制器向远程终端的消息(BC-RT Message)
CMD	命令类型(Command)
CSeq	命令序号(Command Sequence)

DIFF	差值 (Difference)
DRT	目的终端地址 (Destination RT Address)
EM	空消息 (Empty Message)
EOF	帧结束 (End of Frame)
FCS	帧校验序列 (Frame Check Sequence)
FIDX	帧索引 (Frame Index)
Fixed	固定服务 (Fixed SA Server)
FR	强制重传 (Force Retry)
GBC	授权的总线控制器 (Grant Bus Controller)
IFG	帧间距 (Inter Frame Gap)
mBC	总线控制器周期起始模式消息 (Mode BC Cycle Start Message)
MF	多帧标志 (More Frame)
MFT	多帧超时 (More Frame Timeout)
mGBC	总线控制器授权 BC 周期起始模式消息 (Mode Grant BC Cycle Start Message)
MRF	消息重传失败 (Message Retry Failed)
mSNMP	总线管理模式消息 (Mode Simple Bus Management Protoc
mTS	时间同步模式消息 (Mode Time Synchronization Message)
mVWQ	矢量字查询模式消息 (Mode Vector Word Query Message)
NAE	未定义的错误 (NA Error)
NPH	非周期高优先级 (Non-Period High Priority)
NPL	非周期低优先级 (Non-Period Low Priority)
NR	免响应 (No Response)
NRE	无响应错误 (No Response Error)
PH	周期高优先级 (Period High Priority)
PLen	负载长度 (Payload Length)
PL	周期低优先级 (Period Low Priority)
Pri	优先级 (Priority)
Pv	私密 (Private)
Queuing	队列服务 (Queuing Server)
RC	响应码 (Response Code)
RF	数据更新 (Refresh)
RI	响应标识 (Response Indicator)
ROK	响应正确 (Response OK)
RSVD	保留 (Reserved)
RT-BC	远程终端向总线控制器的消息 (RT-BC Message)
RTT	往返时间 (Round Trip Time)
RT-RT	远程终端向远程终端的消息 (RT-RT Message)
RT-RTD	远程终端向远程终端直接传输的消息 (RT-RT Direct Message)
RTE	RT 错误 (RT Error)

SA	子地址 (Sub Address)
SAE	SA 空 (SA Empty)
SAF	SA 满 (SA Full)
Sampling	采样服务 (Sampling Server)
SAP	服务访问点 (Server Access Point)
SAST	子地址服务类型 (SAST)
SOF	帧起始 (Start of Frame)
SRE	SA 接收错误 (SA Receive Error)
SRT	源端地址 (Source RT Address)
STE	SA 发送错误 (SA Transmit Error)
STE	SA 类型错误 (STE)
UFID	帧唯一标识 (Unique Frame Indicator)
UMID	消息唯一标识 (Unique Message Indicator)
Ver	版本 (Version)

4 100M 数据传输总线架构

4.1 总线通信要求

- a) 总线系统的信息传输控制权由总线控制器所有；
- b) 总线系统的操作是命令/响应型的异步操作；
- c) 数据总线上信息传输以半双工方式进行；
- d) 数据总线上的信息流应由消息组成。

4.2 协议层次要求

100M 数据传输总线协议层次基于 GB/T9387 的原理、方法论，参考 OSI 模型构建。100M 数据传输总线规定了完整的 OSI 的数据流层的功能。同样, 为了简化用户操作，100M 数据传输总线针对时间同步和 SNMP 服务提供了应用层接口。

表 1 列出了 100M 数据传输总线各层次的划分及基本功能。

表 1 OSI 参考模型

协议层次	功能
物理层	对总线拓扑、载波信号、基带信号、编码等的定义
数据链路层	报文定界、数据帧定义、校验、数据帧、冗余处理的定义
网络层	命令响应式、消息类型、消息冗余处理的定义
传输层	对总线传输调度的规定
应用层	应用端口服务、网络管理服务、时间同步服务

4.3 100M数据传输总线拓扑结构

4.3.1 基本拓扑结构

100M 数据传输总线基本拓扑结构如图 2 所示。该结构为单余度线型拓扑，节点通过公用差分线

缆相互连接，形成总线型网络架构。



图 2 基本拓扑结构示意图

4.3.2 双余度线型拓扑结构

100M 数据传输总线的双余度线型拓扑结构如图 3 所示：

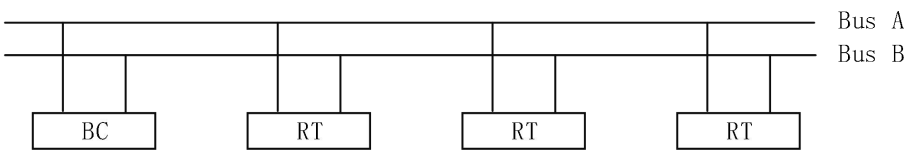


图 3 双余度线型拓扑示意图

100M 数据数据传输总线应支持双冗余度线型拓扑，节点通过两组差分线缆连接到各个节点，核心特性包括：

- a) 物理路径冗余：每个终端通过两条独立链路连接，形成硬件级冗余备份；
- b) 同步数据传输：发送端通过双链路并行发送相同数据帧，确保冗余路径数据一致性；
- c) 去冗余机制：接收端基于帧唯一标识 (UFID) 筛选数据，丢弃重复帧。

4.3.3 多余度拓扑

100M 数据传输总线支持可选的多余度线型拓扑结构，如图 4 所示。节点通过多组差分线缆相互连接，实现更高可靠性的路径冗余。

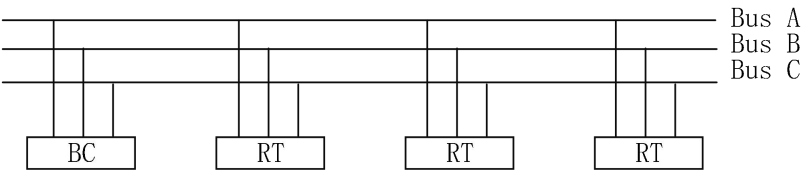


图 4 多余度拓扑

4.3.4 中继拓扑

100M 数据传输总线支持中继级联拓扑结构，如图 5 所示：

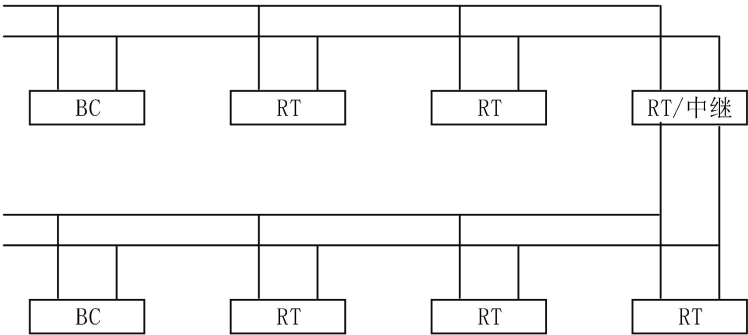


图 5 中继拓扑

RT/中继节点通过四个端口连接到两条总线中，中继节点将接收到的信号通过对应端口转发，实现设备扩展接入。中继转发工作在物理层和数据链路层，中继节点需具备终端特性，支持信号再生与传输。

5 物理层

5.1 电气特性

5.1.1 RS485 电气标准

5.1.1.1 通用电气特性

100M 数据传输总线的 RS485 电气接口遵循 TIA-485-A 第四章所规定的电气参数要求，其发送器与接收器的互联应用如图 6 所示。

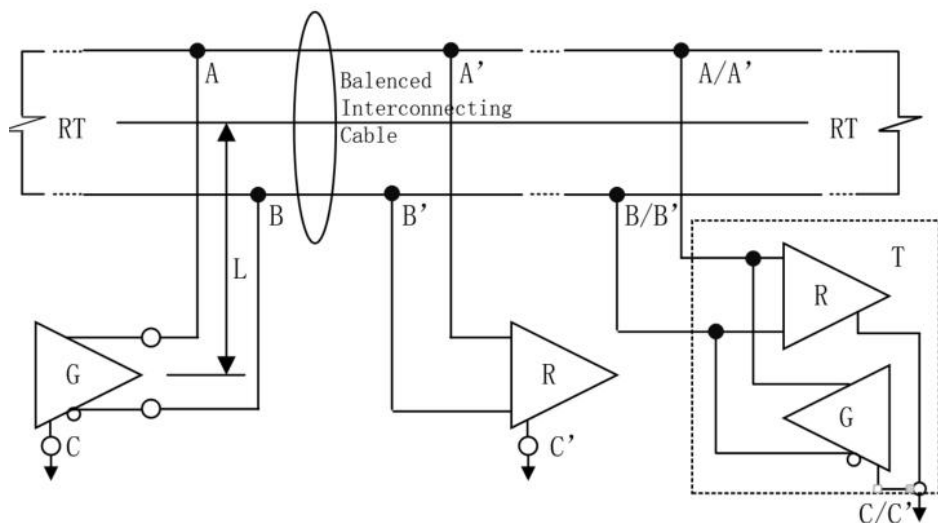


图 6 多点连接电气特性图

注：G = 发送器 R = 接收器 T = 收发器 L = 短截线长度 RT = 终端电阻

A = 发送气接口点 B = 发送器接口点 C = 发送器公共端

A' = 接收器接口点 B' = 接收器接口点 C = 接收器公共端

A/A' = 收发器接口点 B/B' = 接收器接口点 C/C' = 收发器公共端

系统通过差分信号传输数据，以增强抗干扰能力，满足复杂电磁环境下的可靠通信需求。

5.1.1.2 单位负载特性

RS485 电气接口的单位负载特性严格符合 TIA-485-A 标准中 4. 节的规定。单位负载是衡量 RS485 总线驱动能力的关键指标，标准的 RS485 总线接收器输入阻抗为 12k Ω ，定义为 1 个单位负载。100M 数据传输总线的 RS485 接口设计确保总线能够稳定驱动相应数量的单位负载，维持信号传输的稳定性和可靠性。

5.1.1.3 发送器特性

发送器特性完全遵循 TIA-485-A 标准中 4.2 节的规范。发送器具备被动、逻辑 0 和逻辑 1 三种基本状态。在空载时，其差模输出电压绝对值范围为 1.5V-6.0V，单根输出线对地电压不超过 6.0V。当并联 54 Ω 电阻负载时，差模电压绝对值处于 1.5V-5.0V 之间，不同逻辑状态下的差分电压差值不超过 0.2V，失调电压(电阻中点接地测量)范围为-1.0V 到+3.0V，且不同逻辑间差值不超过 0.2V。同时，发送器在差分线间短路及承受一定范围共模电压时不应损坏，并能承受特定短时冲击。

5.1.1.4 接收器特性

接收器特性符合 TIA-485-A 标准 4.3 节的要求。其输入电压范围为单端对地可承受-7V 到 12V 的外部输入电压，差分电压不超过 6V。输入阈值为 $\pm 200\text{mV}$ ，且当差分电压在 $\pm 0.4\text{V}$ 范围内波动时，逻辑值保持稳定不翻转。在共模电压范围、电压冲击承受能力及信号质量方面，接收器均满足 TIA-485-A 标准的严格规定，以确保准确接收并解析总线上的信号。

5.1.1.5 收发器特性

收发器特性遵循 TIA-485-A 标准 4.4 节的规范。收发器集成了发送器与接收器的功能，在电气性

能上满足发送和接收双向工作的要求，确保在半双工通信模式下，能够快速、准确地切换发送和接收状态，维持数据的可靠传输。

5.1.1.6 终端电阻

终端电阻设置需符合 TIA-485-A 标准 4.5 节的要求。为减少信号反射，在 RS485 总线的两端应连接终端电阻，其阻值通常与传输线缆的特性阻抗相匹配，一般为 120 Ω（对于双绞线）。合理的终端电阻配置有助于改善信号质量，保证数据在长距离传输中的完整性与准确性。

5.1.1.7 数据信号速率与线缆长度

数据信号速率与线缆长度的关系遵循 TIA-485-A 标准 A.2 节的规定。一般而言，数据信号速率与线缆长度成反比关系，以确保信号的完整性与可靠性。在 100M 数据传输总线应用中，需依据实际的信号速率需求合理选择线缆长度，以满足 TIA-485-A 标准中关于信号失真及噪声等因素对两者关系的约束条件。

5.1.1.8 短截线

短截线特性符合 TIA-485-A 标准 A.3 节的要求。在 RS485 总线拓扑中，短截线长度应尽可能缩短，以减少信号反射与干扰。标准对短截线的长度及相关电气特性进行了明确规定，100M 数据传输总线在布线设计时需严格遵循这些要求，确保系统的稳定运行。

5.1.1.9 接口点特性

接口点特性遵循 TIA-485-A 标准 A.4 节的规定。接口点的电气参数及信号传输特性需满足标准要求，以保证设备间连接的可靠性与兼容性，实现数据在不同设备接口间的准确传输。

5.1.2 M-LVDS 电气特性

5.1.2.1 通用特性

符合 TIA/EIA-899 第 3 节所规定的通用特性，多点 MLVDS 接口应用示意图如图 7 所示。该接口采用低电压差分信号传输技术，支持多点总线拓扑结构，每个收发电路通过差分线缆连接至总线，特性阻抗 (Z_t) 需与线缆匹配以减少信号反射。

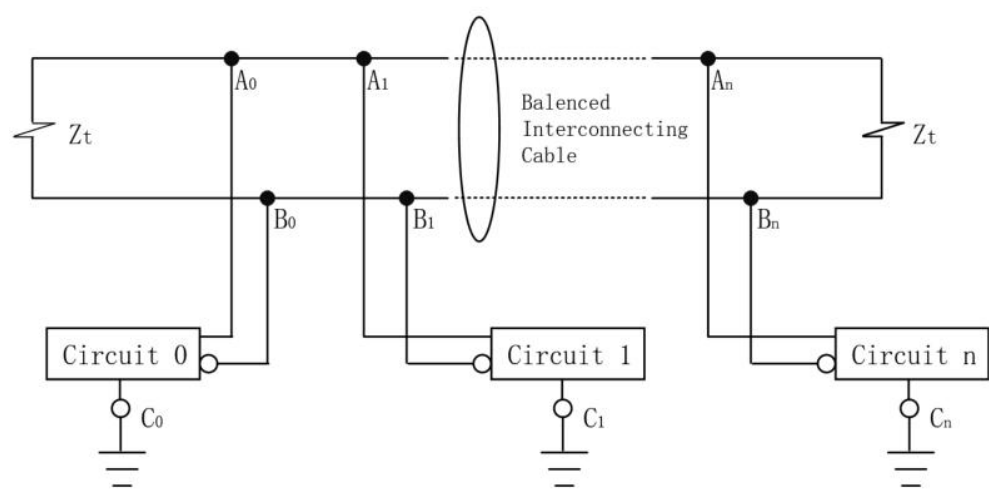


图 7 M-LVDS 多点连接电气特性图

注：An =连接点 Bn = 连接点 Zt = 特性阻抗 Circuit n = 收发电路 Cn = 接地点

5.1.2.2 信号速率特性

符合 TIA/EIA-89 第 3.2 节所规定的数字信号速率特性。该接口支持最高 1.92Gbps 的信号传输速率，在 100Mbps 应用场景中，信号上升/下降时间 $\leq 5\text{ns}$ ，满足总线时序要求。

5.1.2.3 传输距离

符合 TIA/EIA-89 第 3.3 节所规定的传输距离特性，同时满足 TIA/EIA-89 附录 A.5 所规定的线缆长度与信号速率特性要求。在 100Mbps 速率下，采用 CAT5e 线缆时传输距离 $\leq 50\text{m}$ 。

5.1.2.4 驱动器特性

符合 TIA/EIA-89 第 4.1 节所规定的驱动器驱动特性，满足 Type1 与 Type2 两种接收电压特性需求(见 TIA/EIA-89 表 1)：

Type1：差分输出电压范围 100-400mV，共模电压范围-1.0V~+1.0V。

Type2：差分输出电压范围 200-400mV，共模电压范围-0.5V~+0.5V。

5.1.2.5 接收器特性

符合 TIA/EIA-89 第 4.2 节所规定的接收器特性，输入灵敏度 $\leq \pm 50\text{mV}$ ，共模抑制比 $\geq 20\text{dB}$ ，支持-1.5V~+3.5V 共模电压范围，满足环境抗干扰要求。

5.1.2.6 特性阻抗

符合 TIA/EIA-89 第 4.4.1 节所规定的驱动器驱动特性，总线特性阻抗需匹配 $100\Omega \pm 10\%$ (差分)，单端阻抗 $50\Omega \pm 5\%$ ，确保信号完整性。

5.2 调制编码

5.2.1 曼彻斯特 II 型编码

5.2.1.1 编码

符合 GJB289A-1997 中 4.3.3.2 数据码规定，100M 数据传输总线采用曼彻斯特 II 型编码。逻辑 1 定义为双极性编码信号 1/0(正脉冲后接负脉冲)，逻辑 0 定义为双极编码信号 0/1(负脉冲后接正脉冲)，过零跳变发生在每个位时的中点，编码格式如图 8 所示。

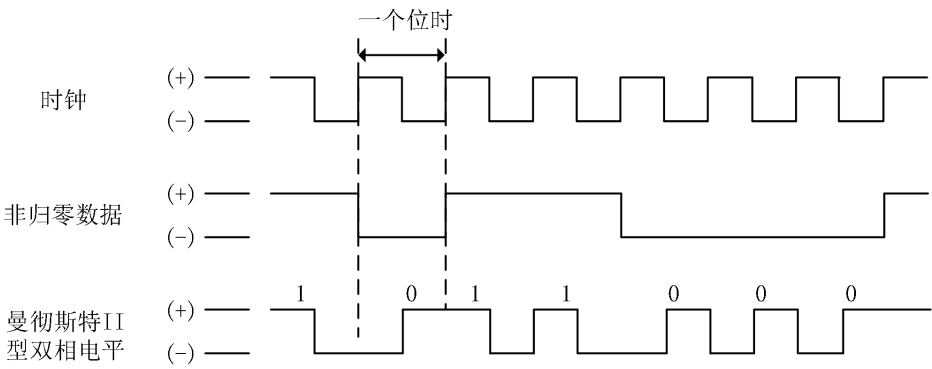


图 8 曼彻斯特 II 型编码

5.2.1.2 位传输速率

总线位传输速率为 50Mb/s, 对应线速率 100Mbps。支持标准线速率包括 100Mbps、50Mbps、25Mbps、12.5Mbps (对应位传输速率 50Mbps、25Mbps、12.5Mbps、6.25Mbps), 其他速率可根据实际应用调整。发送编码数据的内部时钟长期稳定性为 $\pm 0.003\%$ (30PPM)。

5.2.2 8B/9B 编码

5.2.2.1 符号约定

物理信道传输时, 8 位数据转换为 9 位传输符号后串行发送。接收端将物理信道信息按 8 位分组, 译为数据字符。9 位传输符号包含 512 种组合, 其中 256 种为 8 位数据组合, 其余 256 种为专用字符。

5.2.2.2 字符编码与译码

有效数据字符(D): 8 位数据编码部分, 专用字符(K)用于控制功能。每个字符对应两列传输字符, 由当前 RD 值 (“RD-” 或 “RD+”) 决定。

RD 值计算: 编码器上电后初始 RD 赋负值, 发送字符后根据末位比特更新 RD: 末位为 0b1 时 RD 为正, 末位为 0b0 时 RD 为负。

表 2 有效数据 D 编码表

序号	数值	RD-编码	RD+编码	数值	RD-编码	RD+编码
1	8'd0	9'b1_0000_1101	9'b1_0000_1101	8'd128	9'b0_0100_0011	9'b0_0100_0011
2	8'd1	9'b1_0000_1110	9'b1_0000_1110	8'd129	9'b0_0100_0101	9'b0_0100_0101
3	8'd2	9'b1_0000_1111	9'b0_1111_0000	8'd130	9'b0_0100_0111	9'b1_1011_1000
4	8'd3	9'b1_0001_0001	9'b1_0001_0001	8'd131	9'b0_0100_1001	9'b0_0100_1001
5	8'd4	9'b1_0001_0011	9'b1_0001_0011	8'd132	9'b0_0100_1011	9'b0_0100_1011
6	8'd5	9'b1_0001_0101	9'b1_0001_0101	8'd133	9'b0_0100_1101	9'b0_0100_1101
7	8'd6	9'b1_0001_0110	9'b1_0001_0110	8'd134	9'b0_0100_1110	9'b0_0100_1110
8	8'd7	9'b1_0001_0111	9'b0_1110_1000	8'd135	9'b0_0100_1111	9'b1_1011_0000

表 2 有效数据D编码表(续)

序号	数值	RD-编码	RD+编码	数值	RD-编码	RD+编码
9	8'd8	9'b1_0001_1001	9'b1_0001_1001	8'd136	9'b0_0101_0001	9'b0_0101_0001
10	8'd9	9'b1_0001_1010	9'b1_0001_1010	8'd137	9'b0_0101_0011	9'b0_0101_0011
11	8'd10	9'b1_0001_1011	9'b1_0001_1011	8'd138	9'b0_0101_0101	9'b0_0101_0101
12	8'd11	9'b1_0001_1100	9'b1_0001_1100	8'd139	9'b0_0101_0110	9'b0_0101_0110
13	8'd12	9'b1_0001_1101	9'b1_0001_1101	8'd140	9'b0_0101_0111	9'b1_1010_1000
14	8'd13	9'b1_0001_1110	9'b1_0001_1110	8'd141	9'b0_0101_1001	9'b0_0101_1001
15	8'd14	9'b1_0010_0001	9'b1_0010_0001	8'd142	9'b0_0101_1010	9'b0_0101_1010
16	8'd15	9'b1_0010_0011	9'b1_0010_0011	8'd143	9'b0_0101_1011	9'b0_0101_1011
17	8'd16	9'b1_0010_0101	9'b1_0010_0101	8'd144	9'b0_0101_1100	9'b0_0101_1100
18	8'd17	9'b1_0010_0110	9'b1_0010_0110	8'd145	9'b0_0101_1101	9'b0_0101_1101
19	8'd18	9'b1_0010_0111	9'b0_1101_1000	8'd146	9'b0_0101_1110	9'b0_0101_1110
20	8'd19	9'b1_0010_1001	9'b1_0010_1001	8'd147	9'b0_0110_0001	9'b0_0110_0001
21	8'd20	9'b1_0010_1010	9'b1_0010_1010	8'd148	9'b0_0110_0011	9'b0_0110_0011
22	8'd21	9'b1_0010_1011	9'b1_0010_1011	8'd149	9'b0_0110_0101	9'b0_0110_0101
23	8'd22	9'b1_0010_1100	9'b1_0010_1100	8'd150	9'b0_0110_0110	9'b0_0110_0110
24	8'd23	9'b1_0010_1101	9'b1_0010_1101	8'd151	9'b0_0110_0111	9'b1_1001_1000
25	8'd24	9'b1_0010_1110	9'b1_0010_1110	8'd152	9'b0_0110_1001	9'b0_0110_1001
26	8'd25	9'b1_0010_1111	9'b0_1101_0000	8'd153	9'b0_0110_1010	9'b0_0110_1010
27	8'd26	9'b1_0011_0001	9'b1_0011_0001	8'd154	9'b0_0110_1011	9'b0_0110_1011
28	8'd27	9'b1_0011_0010	9'b1_0011_0010	8'd155	9'b0_0110_1100	9'b0_0110_1100
29	8'd28	9'b1_0011_0011	9'b1_0011_0011	8'd156	9'b0_0110_1101	9'b0_0110_1101
30	8'd29	9'b1_0011_0100	9'b1_0011_0100	8'd157	9'b0_0110_1110	9'b0_0110_1110
31	8'd30	9'b1_0011_0101	9'b1_0011_0101	8'd158	9'b0_0110_1111	9'b1_1001_0000
32	8'd31	9'b1_0011_0110	9'b1_0011_0110	8'd159	9'b0_0111_0001	9'b0_0111_0001
33	8'd32	9'b1_0011_0111	9'b0_1100_1000	8'd160	9'b0_0111_0010	9'b0_0111_0010
34	8'd33	9'b1_0011_1001	9'b1_0011_1001	8'd161	9'b0_0111_0011	9'b0_0111_0011
35	8'd34	9'b1_0011_1010	9'b1_0011_1010	8'd162	9'b0_0111_0100	9'b0_0111_0100
36	8'd35	9'b1_0011_1011	9'b0_1100_0100	8'd163	9'b0_0111_0101	9'b0_0111_0101
37	8'd36	9'b1_0011_1100	9'b1_0011_1100	8'd164	9'b0_0111_0110	9'b0_0111_0110
38	8'd37	9'b1_0011_1101	9'b0_1100_0010	8'd165	9'b0_0111_0111	9'b1_1000_1000
39	8'd38	9'b1_0100_0011	9'b1_0100_0011	8'd166	9'b0_0111_1001	9'b0_0111_1001
40	8'd39	9'b1_0100_0101	9'b1_0100_0101	8'd167	9'b0_0111_1010	9'b0_0111_1010
41	8'd40	9'b1_0100_0110	9'b1_0100_0110	8'd168	9'b0_0111_1011	9'b1_1000_0100
42	8'd41	9'b1_0100_0111	9'b0_1011_1000	8'd169	9'b0_1000_0101	9'b0_1000_0101
43	8'd42	9'b1_0100_1001	9'b1_0100_1001	8'd170	9'b0_1000_0111	9'b1_0111_1000
44	8'd43	9'b1_0100_1010	9'b1_0100_1010	8'd171	9'b0_1000_1001	9'b0_1000_1001

表 2 有效数据D编码表(续)

序号	数值	RD-编码	RD+编码	数值	RD-编码	RD+编码
45	8' d44	9' b1_0100_1011	9' b1_0100_1011	8' d172	9' b0_1000_1011	9' b0_1000_1011
46	8' d45	9' b1_0100_1100	9' b1_0100_1100	8' d173	9' b0_1000_1101	9' b0_1000_1101
47	8' d46	9' b1_0100_1101	9' b1_0100_1101	8' d174	9' b0_1000_1110	9' b0_1000_1110
48	8' d47	9' b1_0100_1110	9' b1_0100_1110	8' d175	9' b0_1000_1111	9' b1_0111_0000
49	8' d48	9' b1_0100_1111	9' b0_1011_0000	8' d176	9' b0_1001_0001	9' b0_1001_0001
50	8' d49	9' b1_0101_0001	9' b1_0101_0001	8' d177	9' b0_1001_0011	9' b0_1001_0011
51	8' d50	9' b1_0101_0010	9' b1_0101_0010	8' d178	9' b0_1001_0101	9' b0_1001_0101
52	8' d51	9' b1_0101_0011	9' b1_0101_0011	8' d179	9' b0_1001_0110	9' b0_1001_0110
53	8' d52	9' b1_0101_0100	9' b1_0101_0100	8' d180	9' b0_1001_0111	9' b1_0110_1000
54	8' d53	9' b1_0101_0101	9' b1_0101_0101	8' d181	9' b0_1001_1001	9' b0_1001_1001
55	8' d54	9' b1_0101_0110	9' b1_0101_0110	8' d182	9' b0_1001_1010	9' b0_1001_1010
56	8' d55	9' b1_0101_0111	9' b0_1010_1000	8' d183	9' b0_1001_1011	9' b0_1001_1011
57	8' d56	9' b1_0101_1001	9' b1_0101_1001	8' d184	9' b0_1001_1100	9' b0_1001_1100
58	8' d57	9' b1_0101_1010	9' b1_0101_1010	8' d185	9' b0_1001_1101	9' b0_1001_1101
59	8' d58	9' b1_0101_1011	9' b0_1010_0100	8' d186	9' b0_1001_1110	9' b0_1001_1110
60	8' d59	9' b1_0101_1100	9' b1_0101_1100	8' d187	9' b0_1010_0001	9' b0_1010_0001
61	8' d60	9' b1_0101_1101	9' b0_1010_0010	8' d188	9' b0_1010_0011	9' b0_1010_0011
62	8' d61	9' b1_0101_1110	9' b1_0101_1110	8' d189	9' b0_1010_0101	9' b0_1010_0101
63	8' d62	9' b1_0110_0001	9' b1_0110_0001	8' d190	9' b0_1010_0110	9' b0_1010_0110
64	8' d63	9' b1_0110_0010	9' b1_0110_0010	8' d191	9' b0_1010_0111	9' b1_0101_1000
65	8' d64	9' b1_0110_0011	9' b1_0110_0011	8' d192	9' b0_1010_1001	9' b0_1010_1001
66	8' d65	9' b1_0110_0100	9' b1_0110_0100	8' d193	9' b0_1010_1010	9' b0_1010_1010
67	8' d66	9' b1_0110_0101	9' b1_0110_0101	8' d194	9' b0_1010_1011	9' b0_1010_1011
68	8' d67	9' b1_0110_0110	9' b1_0110_0110	8' d195	9' b0_1010_1100	9' b0_1010_1100
69	8' d68	9' b1_0110_0111	9' b0_1001_1000	8' d196	9' b0_1010_1101	9' b0_1010_1101
70	8' d69	9' b1_0110_1001	9' b1_0110_1001	8' d197	9' b0_1010_1110	9' b0_1010_1110
71	8' d70	9' b1_0110_1010	9' b1_0110_1010	8' d198	9' b0_1010_1111	9' b1_0101_0000
72	8' d71	9' b1_0110_1011	9' b0_1001_0100	8' d199	9' b0_1011_0001	9' b0_1011_0001
73	8' d72	9' b1_0110_1100	9' b1_0110_1100	8' d200	9' b0_1011_0010	9' b0_1011_0010
74	8' d73	9' b1_0110_1101	9' b0_1001_0010	8' d201	9' b0_1011_0011	9' b0_1011_0011
75	8' d74	9' b1_0110_1110	9' b1_0110_1110	8' d202	9' b0_1011_0100	9' b0_1011_0100
76	8' d75	9' b1_0111_0001	9' b1_0111_0001	8' d203	9' b0_1011_0101	9' b0_1011_0101
77	8' d76	9' b1_0111_0010	9' b1_0111_0010	8' d204	9' b0_1011_0110	9' b0_1011_0110
78	8' d77	9' b1_0111_0011	9' b0_1000_1100	8' d205	9' b0_1011_0111	9' b1_0100_1000
79	8' d78	9' b1_0111_0100	9' b1_0111_0100	8' d206	9' b0_1011_1001	9' b0_1011_1001

80	8' d79	9' b1_0111_0101	9' b0_1000_1010	8' d207	9' b0_1011_1010	9' b0_1011_1010
----	--------	-----------------	-----------------	---------	-----------------	-----------------

表 2 有效数据D编码表(续)

序号	数值	RD-编码	RD+编码	数值	RD-编码	RD+编码
81	8' d80	9' b1_0111_0110	9' b1_0111_0110	8' d208	9' b0_1011_1011	9' b1_0100_0100
82	8' d81	9' b1_0111_1001	9' b0_1000_0110	8' d209	9' b0_1011_1100	9' b0_1011_1100
83	8' d82	9' b1_0111_1010	9' b1_0111_1010	8' d210	9' b0_1011_1101	9' b1_0100_0010
84	8' d83	9' b1_1000_0101	9' b1_1000_0101	8' d211	9' b0_1100_0011	9' b0_1100_0011
85	8' d84	9' b1_1000_0110	9' b1_1000_0110	8' d212	9' b0_1100_0101	9' b0_1100_0101
86	8' d85	9' b1_1000_0111	9' b0_0111_1000	8' d213	9' b0_1100_0110	9' b0_1100_0110
87	8' d86	9' b1_1000_1001	9' b1_1000_1001	8' d214	9' b0_1100_0111	9' b1_0011_1000
88	8' d87	9' b1_1000_1010	9' b1_1000_1010	8' d215	9' b0_1100_1001	9' b0_1100_1001
89	8' d88	9' b1_1000_1011	9' b1_1000_1011	8' d216	9' b0_1100_1010	9' b0_1100_1010
90	8' d89	9' b1_1000_1100	9' b1_1000_1100	8' d217	9' b0_1100_1011	9' b0_1100_1011
91	8' d90	9' b1_1000_1101	9' b1_1000_1101	8' d218	9' b0_1100_1100	9' b0_1100_1100
92	8' d91	9' b1_1000_1110	9' b1_1000_1110	8' d219	9' b0_1100_1101	9' b0_1100_1101
93	8' d92	9' b1_1000_1111	9' b0_0111_0000	8' d220	9' b0_1100_1110	9' b0_1100_1110
94	8' d93	9' b1_1001_0001	9' b1_1001_0001	8' d221	9' b0_1100_1111	9' b1_0011_0000
95	8' d94	9' b1_1001_0010	9' b1_1001_0010	8' d222	9' b0_1101_0001	9' b0_1101_0001
96	8' d95	9' b1_1001_0011	9' b1_1001_0011	8' d223	9' b0_1101_0010	9' b0_1101_0010
97	8' d96	9' b1_1001_0100	9' b1_1001_0100	8' d224	9' b0_1101_0011	9' b0_1101_0011
98	8' d97	9' b1_1001_0101	9' b1_1001_0101	8' d225	9' b0_1101_0100	9' b0_1101_0100
99	8' d98	9' b1_1001_0110	9' b1_1001_0110	8' d226	9' b0_1101_0101	9' b0_1101_0101
100	8' d99	9' b1_1001_0111	9' b0_0110_1000	8' d227	9' b0_1101_0110	9' b0_1101_0110
101	8' d100	9' b1_1001_1001	9' b1_1001_1001	8' d228	9' b0_1101_0111	9' b1_0010_1000
102	8' d101	9' b1_1001_1010	9' b1_1001_1010	8' d229	9' b0_1101_1001	9' b0_1101_1001
103	8' d102	9' b1_1001_1011	9' b0_0110_0100	8' d230	9' b0_1101_1010	9' b0_1101_1010
104	8' d103	9' b1_1001_1100	9' b1_1001_1100	8' d231	9' b0_1101_1011	9' b1_0010_0100
105	8' d104	9' b1_1001_1101	9' b0_0110_0010	8' d232	9' b0_1101_1100	9' b0_1101_1100
106	8' d105	9' b1_1001_1110	9' b1_1001_1110	8' d233	9' b0_1101_1101	9' b1_0010_0010
107	8' d106	9' b1_1010_0001	9' b1_1010_0001	8' d234	9' b0_1101_1110	9' b0_1101_1110
108	8' d107	9' b1_1010_0010	9' b1_1010_0010	8' d235	9' b0_1110_0001	9' b0_1110_0001
109	8' d108	9' b1_1010_0011	9' b1_1010_0011	8' d236	9' b0_1110_0010	9' b0_1110_0010
110	8' d109	9' b1_1010_0100	9' b1_1010_0100	8' d237	9' b0_1110_0011	9' b0_1110_0011
111	8' d110	9' b1_1010_0101	9' b1_1010_0101	8' d238	9' b0_1110_0100	9' b0_1110_0100
112	8' d111	9' b1_1010_0110	9' b1_1010_0110	8' d239	9' b0_1110_0101	9' b0_1110_0101
113	8' d112	9' b1_1010_0111	9' b0_0101_1000	8' d240	9' b0_1110_0110	9' b0_1110_0110
114	8' d113	9' b1_1010_1001	9' b1_1010_1001	8' d241	9' b0_1110_0111	9' b1_0001_1000
115	8' d114	9' b1_1010_1010	9' b1_1010_1010	8' d242	9' b0_1110_1001	9' b0_1110_1001

116	8' d115	9' b1_1010_1011	9' b0_0101_0100	8' d243	9' b0_1110_1010	9' b0_1110_1010
-----	---------	-----------------	-----------------	---------	-----------------	-----------------

表 2 有效数据D编码表(续)

序号	数值	RD-编码	RD+编码	数值	RD-编码	RD+编码
117	8' d116	9' b1_1010_1100	9' b1_1010_1100	8' d244	9' b0_1110_1011	9' b1_0001_0100
118	8' d117	9' b1_1010_1101	9' b0_0101_0010	8' d245	9' b0_1110_1100	9' b0_1110_1100
119	8' d118	9' b1_1010_1110	9' b1_1010_1110	8' d246	9' b0_1110_1101	9' b1_0001_0010
120	8' d119	9' b1_1011_0001	9' b1_1011_0001	8' d247	9' b0_1110_1110	9' b0_1110_1110
121	8' d120	9' b1_1011_0010	9' b1_1011_0010	8' d248	9' b0_1111_0001	9' b0_1111_0001
122	8' d121	9' b1_1011_0011	9' b0_0100_1100	8' d249	9' b0_1111_0010	9' b0_1111_0010
123	8' d122	9' b1_1011_0100	9' b1_1011_0100	8' d250	9' b0_1111_0011	9' b1_0000_1100
124	8' d123	9' b1_1011_0101	9' b0_0100_1010	8' d251	9' b0_1111_0100	9' b0_1111_0100
125	8' d124	9' b1_1011_0110	9' b1_1011_0110	8' d252	9' b0_1111_0101	9' b1_0000_1010
126	8' d125	9' b1_1011_1001	9' b0_0100_0110	8' d253	9' b0_1111_0110	9' b0_1111_0110
127	8' d126	9' b1_1011_1010	9' b1_1011_1010	8' d254	9' b1_0000_1001	9' b1_0000_1001
128	8' d127	9' b1_1011_1100	9' b1_1011_1100	8' d255	9' b1_0000_1011	9' b1_0000_1011

表 3 专用字符 K 码表

序号	数值	RD-编码	RD+编码
1	IDLE	9' b1_1101_1000	9' b1_1101_1000
2	SOF	9' b0_0010_0111	9' b0_0010_0111
3	EOF	9' b0_0011_0111	9' b1_1100_1000

6 数据链路层

6.1 协议架构

6.1.1 通用服务

100M 数据传输总线数据链路层遵循 OSI 参考模型设计，为物理层与总线层提供标准化服务接口，核心功能包括帧定界、帧校验、地址识别、数据对齐及冗余管理。该层采用线型拓扑架构。

6.1.2 数据链路层服务体系

6.1.2.1 基础服务功能

基础服务功能如下：

- a) 帧定界与校验：定义数据帧的起始/结束标识及 CRC 校验规则，确保数据传输的完整性。
- b) 地址识别与解析：支持 16 位终端地址(单播/组播/广播)的识别与匹配，实现精准数据路由。
- c) 冗余处理机制：基于帧唯一标识(UFID)实现冗余帧消除，保障数据唯一性(详见 6.6 节)。

6.1.2.2 线型拓扑特性

采用线型拓扑结构，以公共差分线缆为物理通道，终端设备通过共享链路连接，支持半双工通信与动态带宽分配。

6.1.3 协议接口规范

向下接口(物理层): 适配电缆/光纤物理层传输特性, 支持曼彻斯特 II 型编与 8B/9B 编码、帧间距控制等底层协议(详见第 5 章)。

向上接口(网络层): 提供标准化数据帧传输接口, 支持命令/响应机制、多帧传输及优先级调度(详见第 7 章)。

6.2 帧间距与空闲状态

6.2.1 帧间距规范

帧间距(Inter Frame Gap, IFG)指相邻数据帧之间的最小时间间隔, 单位为纳秒(ns), 其定义与流程如图 9 所示。

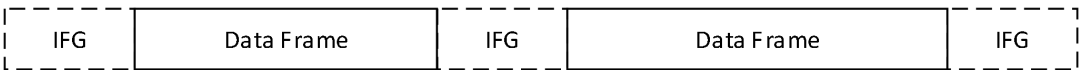


图 9 帧间距

6.2.2 时间范围规范

IFG 时间长度等效为 1~12 字节的传输时间(8~96 位时), 在 100Mbps 线速率下, 1 位时为 10ns, 对应 IFG 范围为 80ns、160ns、240ns、320ns、400ns、480ns、560ns、640ns、720ns、800ns、880ns、960ns(每间隔 80ns 为一档)。

6.2.3 配置与应用规则

- a) 线速率适配: IFG 时间需与物理层传输速率匹配, 例如 100Mbps 速率下 1 位时为 10ns, IFG 范围对应调整为 80ns~960ns。
- b) 强制间隔要求: 任意两数据帧之间必须满足 IFG 间隔时间, 以确保接收端完成帧解析与缓冲处理。

6.2.4 帧间距数据要求

100M 数据传输总线物理层的帧间距期间, 数据链路层保持电气空闲状态状态, 数据链路层在 IFG 间隔内不发送任何有效数据帧或控制信号, 确保接收端帧边界识别。

6.3 帧定界

6.3.1 帧定界格式

每个终端节点应具备在串行码流中获取有效帧的能力, 通过图 10 所是的定界格式有效解析数据帧。

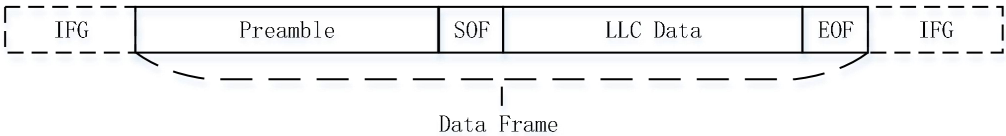


图 10 帧定界

6.3.2 字节序

传输遵循从左至右的字节顺序，每个字节按排列顺序依次发送，确保接收端与发送端的字节流时序一致。

6.3.3 位序

每个字节的 8 个比特位按从左至右顺序传输，具体规则如下：

- a) 传输起点为最低有效位(比特 0)，依次向最高有效位(比特 7)递进；
- b) 完成一个字节的 8 位传输后，立即开始下一个字节的比特 0 传输，确保位流连续性。

6.3.4 前导码

6.3.4.1 前导码要求

前导码，Preamble，前导码为 2~12 个字节的固定数，100M 数据总线有两种编码格式，应支持两种物理层编码的前导码。

6.3.4.2 基于曼彻斯特编码的前导码

前导码为字节序列为 0b10101010，每个发送方应发送配置数量的前导码，用于接收方与发送端的时钟相位同步。

6.3.4.3 基于 8B/9B 编码的前导码

前导码为表 3 所定义 IDLE 字符，每个发送方应发送配置数量的 IDLE 字符，用与接收方与发送端的编码协同；

6.3.5 帧起始

6.3.5.1 帧起始要求

帧起始，Start of Frame，帧起始界定符为 1 个字节的固定数，在 Preamble 之后发送，应支持两种编码方法的帧起始。

6.3.5.2 基于曼彻斯特的帧起始

前导码为 1 个字节的 0b10101011，位于 Preamble 后紧随着的字节，用于标识数据帧的起始。每个接收方应检测 SOF 进行字节同步。

6.3.5.3 基于 8B/9B 编码的帧起始

帧起始为表 3 所定义的 SOF 字符，每个发送方在紧跟着 Preamble 后发送 SOF 专用，用于接收方检测 SOF 进行字节同步。

6.3.5.4 数据链路层数据(LLC Data)

6.3.5.4.1 数据长度规范

- a) 有效载荷范围：0~1024 字节，支持可变长传输；
- b) 最大传输单元 MTU = 1024 字节；
 - 1) 对齐要求：需按 4 字节边界对齐，具体规则如下：
 - 2) 当用户数据长度 $\text{mod } 4 \neq 0$ 时，数据链路层自动填充 $(4 - (\text{长度} \text{ mod } 4))$ 个 0 字节；
 - 3) 填充字节位于用户数据之后、帧校验序列(FCS)之前。

6.3.5.4.2 负载类型

用于承载用户业务数据或协议定制数据。支持时间同步、网络管理等上层协议的透明传输。

6.3.6 帧结束

6.3.6.1 帧结束要求

帧结束，End of Frame，帧结束界定符为 1 个字节的固定数，在循环冗余校验之后发送，应支持两种编码方法的帧结束。

6.3.6.2 基于曼彻斯特的帧结束

帧结束 EOF 界定符为 1 个字节的 0b10101011，位于 FCS 后紧随着的字节，用于标识数据帧的结束。每个接收方应检测 EOF 界定帧结束位置。

6.3.6.3 基于 8B/9B 编码的帧结束

帧结束为表 3 所定义的 EOF 专用字符，每个发送方在紧跟着 FCS 后发送 EOF 字符，用于标识数据帧的结束。每个接收方应检测 EOF 界定帧结束位置。

6.4 报文格式要求

6.4.1 报文定义

6.4.1.1 报文字段位置

100M 数据传输总线遵循 GB/T 16681-2008《信息技术 开放系统互连 数据链路层服务定义》分层架构，数据链路层、网络层、传输层采用统一报文格式，实现跨层协议适配，通用报文格式如图 11 所示。

字段/位序	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	
Head	Proto								Version				Pv	Priority			Command Sequence														Retry		
	Source RT												RI		SAST		Command				Frame Index												
	Destination RT												SA																				
	Payload Length												Flags						Response Code														
Payload[MTU:1]	Payload																																
FCS	Frame Check Sequence																																

图 11 通用报文格式

6.4.1.2 报文结构规范

报文由 Head(首部)、Payload(数据负载)、FCS(帧校验序列)组成。

6.4.1.3 跨层适配要求

- 统一首部设计：Head 字段兼容数据链路层帧定界(6.3 节)，避免跨层报文重组；
- 长度约束：Payload 最大长度 1024 字节，符合 GB/T 16681-2008 “可变长服务数据单元” 规范；
- 校验覆盖：FCS 覆盖 Head+Payload，确保传输完整性(GB/T 17176.3-1997 5.2.4 节)。

6.4.1.4 报文首部字段说明

100M 数据传输总线报文首部字段如表 4 定义：

表 4 报文字段说明

序号	字段名	缩略语	位宽	功能说明	描述
1	Proto		8	协议类型(标识 100M 数据传输总线协议, 符合 GB/T 16681-2008 5.2)	固定为 0x59
2	Version	Ver	4	协议版本(标识协议版本号, 用于兼容性适配)	版本为 1
3	Private	Pv	1	私密控制	固定为 0, 洪泛
4	Priority	Pri	3	通信优先级(GB/T 30271-2013 优先级分级规范)	7 为最高优先级, 0 为最低优先级
5	Command Sequence	CSeq	14	命令序号(用于命令帧唯一性标识与重传校验)	从 1 开始, 下一个命令帧+1, 回卷后重置为 1
6	Retry	Retry	2	重传标记(记录重传次数, 用于重传机制控制)	每重传一次+1, 最多重传 3 次
7	Source RT	SRT	16	源终端地址(标识发送报文的终端, 支持地址空间定义)	发送报文的终端地址
8	Response Indicator	RI	1	响应标识(区分命令帧与响应帧)	0 标识命令帧, 1 标识响应帧
9	Command	CMD	5	命令类型(区分不同消息类型, 实现命令/响应逻辑)	区分不同的消息类型
10	Sub Address Server Type	SAST	2	子地址服务类型(定义 SA 端口对应的数据服务类型)	SA 端口的数据服务类型
11	Frame Index	FIDX	8	帧索引(用于多帧消息的分片重组标识)	一个消息中多数据帧的索引序号
12	Destination RT	DRT	16	目的终端地址(标识报文接收终端, 支持单播/组播)	报文的目的终端地址
13	Sub Address	SA	16	数据端口(指向终端内子地址/子系统, 实现精细路由)	-
14	Payload Length	PLen	16	负载长度(标识有效载荷字节数, 不含填充字节)	单位为字节, 长度 0~1024, 不包含 PAD 字节
15	Flags		8	组合标志(承载免响应、强制重传等控制位)	-
16	Response Code	RC	8	响应码(反馈命令执行结果, 0x00 为成功, 0x8x 为错误)	-
17	Payload	PL	变长 (对齐到 4 字节)	承载用户数据或协议负载(需 4 字节对齐, 不足补 0)	对齐到 4 字节, 不足部分补 0
18	Frame Check Sequence	FCS	32	帧校验序列(保障报文传输完整性, 采用 CRC-32 算法)	GB/T 17176.3 - 1997 5.2.4 节规范

6.4.2 字段详解

6.4.2.1 协议(Proto)

协议标识字段，遵循 GB/T 17176.3-1997《信息技术 开放系统互连 数据链路层帧和差错控制》编码规范，应固定填入 0x59(8 比特位宽)，用于标识 100M 数据传输总线协议类型，实现跨设备协议识别。

6.4.2.2 版本(Version)

协议版本字段，应固定填入 0x1(4 比特位宽)，符合 GB/T 20540-2006《信息技术 系统间远程通信和信息交换 高速以太网层协议规范》版本管理要求，用于协议兼容性适配，当前版本为 V1.0。

6.4.2.3 私密(Private)

私密，通信标志，应填入固定值为 0x0，本协议默认为洪泛通信方式。

6.4.2.4 优先级(Priority)

优先级字段(3 比特位宽)，定义总线调度优先级，符合 GB/T 30271-2013《数字通信系统 优先级调度技术要求》分级规则。命令帧与对应响应帧优先级需保持一致，最高优先级为 0x7，最低为 0x0，具体映射关系见表 5：

表 5 优先级字段说明

序号	优先级	消息类型	简称	解释
1	7	Mode BC Cycle Start Message	mBC	BC 发起的周期起始消息
2	6	Mode GBC Cycle Start Message	mGBC	BC 发起的 Grant BC 周期起始消息
3	5	非周期高优先级消息 Non-Periodic high-priority messages	NPH	非周期高优先级调度消息优先级
4	4	周期高优先级消息 Periodic high-priority messages	PH	周期高优先级调度消息优先级
5	3	保留	RSVD	保留
6	2	非周期低优先级消息 Non-Periodic Low-priority messages	NPL	非周期低优先级调度消息优先级
7	1	周期低优先级消息 Periodic Low-priority message	PL	周期低优先级调度消息优先级
8	0	保留	RSVD	保留

6.4.2.5 命令序号(Command Sequence)

命令序号字段(14 比特位宽，简称 CSeq)，遵循 GB/T 16681-2008“命令/响应原语关联”要求，取值范围 1~16383，BC 每发送 1 个命令帧，CSeq 递增 1；达到 16383 后回卷为 1。响应帧需与对应命令帧 CSeq 严格一致，用于重传校验与命令关联。

6.4.2.6 重传(Retry)

重传控制字段(2 比特位宽)，符合 GB/T 30271-2013 “重传机制规范”，最多支持 3 次重传。首次传输 Retry=0x0，第 1 次重传 Retry=0x1，第 2 次重传 Retry=0x2，第 3 次重传 Retry=0x3；超过 3 次重传则触发通信错误(7.1.3 节重传流程)。

6.4.2.7 源终端地址(Source RT)

源终端地址字段(16 比特位宽)，遵循 GB/T 20540-2006 “地址编码规范”，标识发送帧的终端(RT)物理地址，支持 2¹⁶ 终端寻址，用于网络层路由与链路层源标识。源响应标识

6.4.2.8 响应标识(Response Indicator)

响应标识字段(1 比特位宽)，符合 GB/T 16681-2008 “命令 / 响应服务原语”定义：0x0 标识命令帧(用于发起请求)，0x1 标识响应帧(用于反馈请求结果)，实现命令-响应逻辑关联。

6.4.2.9 命令(Command)

命令字段(5 比特位宽)，定义命令响应式消息的交互类型，遵循 GB/T 16681-2008 《信息技术 开放系统互连 数据链路层服务定义》“命令/响应原语”规范，具体映射关系如表 6 所示：

表 6 命令字段定义

序号	CMD	对应消息	中文释义
1	0x0	BC-RT Message	BC-RT 消息
2	0x1	RT-BC Message	RT-BC 消息
3	0x2/0x12	RT-RT Message	RT-RT 消息
4	0x3	RSVD	保留
5	0x4	RT-RT Direct Message	RT-RT 直传消息
6	0xA	Mode BC Cycle Start Message	BC 周期起始模式消息
7	0xB	Mode GBC Cycle Start Message	Grant BC 授权间隙起始模式消息
8	0xC	Mode TimeSync Message	时间同步消息模式
9	0xD	Mode Vector Word Message	矢量字查询模式消息
10	0xE	Mode SNMP Message	SNMP 管理模式消息
11	其它	RSVD	保留

6.4.2.10 端口服务类型(Sub Address Server Type, SAST)

端口服务类型字段(2 比特位宽)，用于定义子地址(SA)的服务属性，符合 GB/T 20540-2006 《信息技术 系统间远程通信和信息交换 高速以太网层协议规范》“端口精细化管理”要求，具体类型如表 7 所示：

表 7 子地址服务类型定义

序号	SA	名称	简称	解释
1	0x0	Queuing Server	Queuing	队列服务子地址

序号	SA	名称	简称	解释
2	0x1	Sampling Server	Sampling	采样服务子地址
3	0x2	Server Access Point	SAP	服务访问点子地址
4	0x3	Fixed Server	Fixed	确定访问端口，以及未知端口类型，由响应端确定

6.4.2.11 帧索引 Frame Index

帧索引字段(8 比特位宽)，支持周期消息的多帧分片传输，遵循 GB/T 16681-2008 “可变长服务数据单元” 分片规则：

- a) 分片触发：当应用负载>最大单帧负载(见 6.4.1 节 Payload Length 约束)时，触发数据拆分；
- b) 分片规则：首帧至倒数第二帧负载为最大长度(对齐 4 字节)，尾帧承载剩余数据；
- c) 索引范围：FIDX 取值 0~255，支持最多 256 个分片帧，单帧传输时 FIDX=0；
- d) 协议约束：协议栈需兼容单帧/多帧传输，多帧场景按需启用分片(如大负载业务)。

6.4.2.12 目的地址(Destination RT,DRT)

目的地址字段(16 比特位宽)，遵循 GB/T 20540-2006 “地址编码规范”，标识报文接收终端(RT)的物理地址，用于网络层路由与链路层目的标识，与源终端地址(6.4.2.7 节)协同实现端到端通信

6.4.2.13 子地址 Sub Address

子地址字段(16 比特位宽)，用于终端(RT)内部子系统/功能模块的精细寻址，符合 GB/T 16681-2008 “服务访问点”定义：

- a) 地址范围：0~65535(2^{16} 地址空间)；
- b) 类型关联：子地址类型由 SAST 字段(6.4.2.10 节)定义，支持队列、采样等 4 类服务(表 7)；
- c) 应用场景：区分终端内数据缓冲区、功能模块(如飞控子系统、导航子系统)。

6.4.2.14 负载长度 Payload Length

负载长度字段(16 比特位宽)，标识有效载荷的字节数，遵循 GB/T 17176.3-1997 《信息技术 开放系统互连 数据链路层帧和差错控制》“长度字段规范”：

- a) 计算范围：仅包含 Payload(有效载荷)长度，不含 Head、FCS 及填充字节(如 4 字节对齐补 0)；
- b) 取值约束：0~1024 字节(与 6.4.1 节 Payload 字段定义协同)。

6.4.2.15 组合标志(Flags)

组合标志字段(8 比特位宽)，用于承载消息控制标识，遵循 GB/T 16681-2008 《信息技术 开放系统互连 数据链路层服务定义》“控制标志位管理”规范，各比特位定义如表 8 所示：组合标志字段定义：

表 8 组合标志字段定义

序号	比特位范围	名称标识	缩略语	中文释义	功能说明
1	7:5	RSVD	RSVD	保留	固定填 0，遵循 GB/T 1.1-2020 “预留字段规范”

序号	比特位范围	名称标识	缩略语	中文释义	功能说明
2	4	Force Retry	FR	强制重传	0=常规重传(7.1.3 节机制)；1=强制重传(7.1.5 节)
3	3	Empty Message	EM	空消息	SA=Sampling 时，标识未初始化/缓冲区为空
4	2	No Response	NR	免响应	1=无需响应(7.1.6 节免响应机制)
5	1	Refresh	RF	数据更新	SA=Sampling 时：1=新数据，0=旧数据；其他 SA 固定 1(新数据)
6	0	More Frame	MF	多帧标志	0=尾帧(分片结束)；1=中间帧(多帧传输，6.4.2.11 节)

6.4.2.16 响应码(Response Code, RC)

6.4.2.16.1 响应码编码

响应码字段(8 比特位宽)，用于标识响应帧的命令执行状态，遵循 GB/T 16681-2008《信息技术 开放系统互连 数据链路层服务定义》“差错控制原语”规范，命令帧 RC 固定为 0x00，响应帧 RC 定义如表 9 所示：

表 9 响应码字段定义

序号	编码	名称	缩略语	功能说明
1	0x00	Response OK	ROK	响应正确，符合 GB/T 16681-2008 5.4.1 节“成功响应”规范
2	0x81	SA Receive Error	SRE	SA 接收错误：SA 未初始化或接收使能未开启(6.4.2.13 节子地址机制)
3	0x82	SA Transmit Error	STE	SA 发送错误：SA 未初始化或发送使能未开启(6.4.2.13 节子地址机制)
4	0x83	SA Empty	SAE	SA 发送缓冲区为空：初始化并打开发送使能后仍无数据
5	0x84	SA Full	SAF	SA 接收缓冲区已满：初始化并打开接收使能后仍无法接收
6	0x85	RT Error	RTE	RT 终端错误：由 HOST 配置 RT 错误寄存器触发
7	0x86	More Frame Timeout	MFT	多帧超时错误：接收到前序帧后未在超时时间内接收后续帧(7.1.4 节多帧重传)
8	0x87	SA Type Error	STE	SA 类型不匹配：响应端 SA 类型与命令帧 SAST 字段不一致(6.4.2.10 节 SAST 机制)
9	0x88	No Response Error	NRE	无响应错误：命令端超时或重传后未收到响应(7.1.3 节基本重传)
10	0x89	Message Retry Failed	MRF	消息重传失败：达到最大重传次数后仍失败(7.1.3 节基本重传)
11	其它	NA Error	NAE	未定义错误：非上述类型的响应码(GB/T 1.1-2020“预留错误码”规范)

6.4.2.16.2 互斥响应规则

SAE 与 STE 互斥：SAE 表示发送端无数据，STE 表示发送端错误，两者不会同时出现；

SAF 与 SRE 互斥：SAF 表示接收端缓冲区满，SRE 表示接收端未使能，两者不会同时出现。

6.4.2.16.3 多帧超时判定

MFT 错误触发条件为：接收到FIDX=n 且 MF=1 的帧后，未在超时时间内接收到FIDX=n+1 的帧（7.1.4 节超时参数）。

6.4.2.16.4 应用层上报逻辑

NRE/MRF 由传输层直接上报应用层，触发业务层重处理机制。

6.4.2.17 帧校验序列(Frame Check Sequence, FCS)

6.4.2.17.1 报文完整性检验

帧校验序列字段（32 比特位宽），用于保障报文传输完整性，遵循 GB/T 17176.3-1997《信息技术 开放系统互连 数据链路层帧和差错控制》“循环冗余校验”规范，具体技术要求如下。

6.4.2.17.2 校验算法规范

表 10 校验算法规范

序号	项目	技术参数	实现细节
1	算法类型	CRC-32 (GB/T 30276-2013 5.2 节)	采用 32 位循环冗余校验，支持 2 ³² -1 种校验组合
2	生成多项式	$G(x) = x^{32} + x^{26} + x^{23} + x^{22} + x^{16} + x^{12} + x^{11} + x^{10} + x^8 + x^7 + x^5 + x^4 + x^2 + x + 1$	十六进制表示为 0x04C11DB7 (GB/T 17176.3-1997 5.2.4 节)
3	计算方式	从最高位 (MSB) 开始逐位计算，结果取反	计算时在 Payload 后填充 4 字节 0，校验结果取反后存入 FCS 字段 (6.4.1 节报文结构)

6.4.2.17.3 校验范围定义

校验范围覆盖报文 Head 字段至 Payload 字段（不含 FCS 自身），具体包括：

- a) Head 字段：Proto、Version、Priority 等 32 位首部控制信息（6.4.2.1~6.4.2.16 节）；
- b) Payload 字段：有效载荷数据（含 4 字节对齐填充字节）。

6.4.2.17.4 工程实现要求

校验流程如下：

- a) 发送端：构造 Head+Payload 后，计算 CRC-32 并取反，将结果填入 FCS 字段；
- b) 接收端：提取 Head+Payload，计算 CRC-32 并与接收到的 FCS 字段取反值比对，一致则校验通过（GB/T 17176.3-1997 5.3 节）。

6.4.2.17.5 误码指标

校验错误率≤10⁻¹⁰，符合 GB/T 30271-2013《数字通信系统校验技术规范》“高可靠性通信”要求。

6.5 地址识别

6.5.1 终端

100M数据传输总线终端配置应符合 GB/T 16264.3-2019《信息技术 开放系统互连 网络服务定义》地址管理规范，具体要求如下：

- 总线组成：应至少包含 1 个总线控制器(BC)和 1 个总线终端(RT)，且仅允许 1 个活动 BC；
- 调度机制：RT 应接受 BC 的周期调度。

6.5.2 寻址

100M 数据传输总线采用 16 位 RT 地址寻址，地址空间分配符合 GB/T 17173.1-1997《信息技术 开放系统互连 网络层安全协议》，具体划分如下：

表 11 寻址范围定义

序号	地址类型	地址范围	功能说明
1	单播地址	0x0000~0xFEFF	标识唯一终端，各终端需配置本地单播地址
2	组播地址	0xFF00~0xFFFD	支持 254 个组播组，用于多终端同时寻址
3	未知地址	0xFFFE	传输层应用，标识未识别终端
4	广播地址	0xFFFF	网络内所有终端寻址(GB/T 21645-2008)

6.5.3 单播

数据链路层处理单播地址时，应执行以下操作(GB/T 16681-2008 5.2.3 节)：

- a) 提取帧中目的地址(DRT)与本地 RT 地址比对；
- b) 匹配成功则提交网络层处理，否则丢弃报文。

6.5.4 组播

组播地址处理需符合 GB/T 16264.3-2019 “组播服务原语”规范：

- a) 每个 RT 应预配置组播订阅表，映射 0xFF00~0xFFFD 地址；
- b) 接收到组播帧后，与订阅表比对，匹配成功则提交网络层，否则丢弃。

6.5.5 广播

广播地址(0xFFFF)处理应满足：

- a) 所有 RT 应支持广播帧接收；
- b) 接收到广播帧后直接提交网络层，不执行地址过滤。

6.6 冗余处理

6.6.1 帧复制

帧复制机制遵循 GB/T 16681-2008《信息技术 开放系统互连 数据链路层服务定义》5.4 节“冗余传输服务”规范，具体要求如下：

媒体通道管理：

- a) 应根据总线冗余度配置对应数量的媒体通道(如双冗余总线需 2 个独立通道)；
- b) 每个通道需独立处理帧复制，确保冗余帧同步传输。

复制流程：

- a) 网络层数据报文进入数据链路层后，应按通道数量生成副本；

- b) 副本通过各冗余物理通道并行发送，发送时序差 $\leq 10\text{ns}$ (GB/T 30271-2013《数字通信系统校验技术规范》)。

6.6.2 帧消除

帧消除机制需满足以下要求：

- a) 消除触发条件：接收到冗余帧时，通过 UFID (唯一帧标识) 执行去重 (6.6.3 节)；
- b) 处理时效：帧消除延迟 $\leq 500\text{ns}$ 。

6.6.3 帧唯一性

6.6.3.1 帧唯一标识 (Unique Frame Indicator, UFID)

帧在数据链路层的唯一标识定义为 UFID, 由数据帧的多个字段组成。

UFID 的组成如表 12 所示：

表 12 UFID 组成

序号	字段	位宽	备注
1	Command Sequence	14	消息顺序标识, 1~16383 循环
2	Retry	2	区分原始帧与重传帧 (0~3 次重传)
3	Source RT	16	发送端 RT 地址, 唯一标识数据源
4	Response Indicator	1	0=命令帧/1=响应帧
5	Command	5	区分消息类型 (如 0x0=BC-RT 消息)
6	Frame Index	8	多帧序列标识 (0~255, 6.4.2.11 节)

6.6.3.2 UFID 计算规则

UFID= CSeq (14b) + Retry (2b) + SRT (16b) + RI (1b) + CMD (5b) + FIDX (8b), 共 46 比特, 在 CSeq 回卷周期内 (≤ 16383 次) 可确保帧唯一性。

6.6.3.3 UFID 提取

UFID 提取流程应符合 GB/T 16681-2008 “帧解析服务” 规范：

- a) 各媒体通道接收帧时，同步提取报文中的 CSeq、SRT 等字段；
- b) 按 46 比特规则组合生成 UFID, 用于后续去重处理。

6.6.3.4 历史记录表

历史记录表管理要求如下：

存储结构：采用哈希表存储已接收帧的 UFID, 容量 ≥ 1024 条目；

时间戳机制：

- a) 配备 16 位微秒级循环计数器，精度 $\leq 1\mu\text{s}$ ；
- b) 每条 UFID 记录需关联计数器值，用于老化判断 (GB/T 30271-2013)。

6.6.3.5 帧消除

帧消除逻辑遵循“三态判断”原则 (GB/T 16681-2008 5.4.3 节)：

- a) 未匹配 UFID：判定为新帧，提交网络层并记录 UFID + 时间戳；

- b) 匹配且超时：UFID 已记录但时间差>老化阈值(默认 10ms)，视为有效帧并更新记录；
- c) 匹配且未超时：判定为冗余帧，直接丢弃。

7 网络层

7.1 命令响应过程

7.1.1 基本通信过程

7.1.1.1 通信流程

100M 数据传输总线命令/响应通信机制通信流程如图 12 所示：

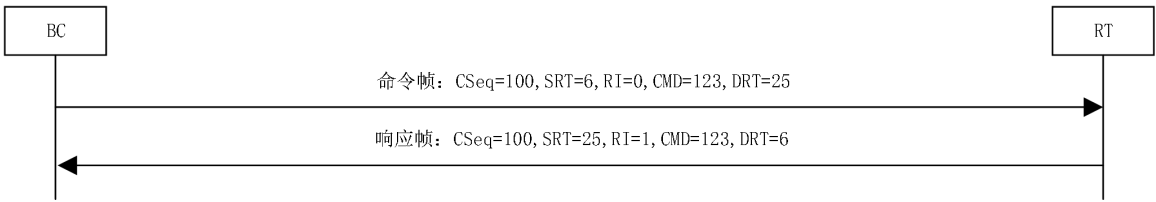


图 12 基本通信过程示意图

7.1.1.2 命令帧构造与发送

总线控制器(BC)生成命令帧，包含 14 位命令序号(CSeq)、源终端地址(SRT)、目的终端地址(DRT)及命令类型(CMD)等，其中 CSeq 按 1~16383 循环递增，响应标识(RI)置 0。

帧格式符合 6.4.1 节报文规范，校验范围遵循 GB/T 17176.3-1997《信息技术 开放系统互连 数据链路层帧和差错控制》5.2.4 节 CRC-32 算法。

7.1.1.3 响应帧处理逻辑

目标终端(RT)接收命令帧后，解析 CSeq 并校验合法性，生成响应帧时交换 SRT 与 DRT，RI 置 1，响应码(RC)填入处理结果(0x0 为成功)。

响应帧需在设置的响应时间内返回。

7.1.1.4 时序约束

BC 发送命令帧后启动超时计时器，默认超时时间 10 μs+帧传输时间(1Gbps 速率下)，超时未收到响应则触发重传机制(7.1.3 节)。

7.1.2 多帧通信过程

7.1.2.1 通信流程

100M 数据传输总线支持总线消息的多帧通信，通过 FIDX 字段标记多帧序列，多帧通信过程如图 13 所示：

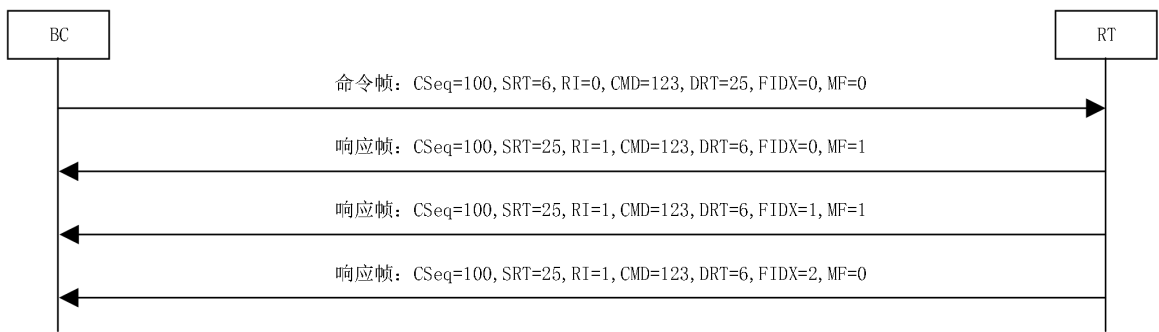


图 13 多帧通信过程示意图

7.1.2.2 多帧通信参数

表 13 所示为多帧通信参数。

表 13 多帧通信参数

序号	项目	技术参数	实现细节
1	帧索引 (FIDX)	8 位字段, 0~255	首帧 FIDX=0, 后续帧递增, 尾帧 FIDX 对应最后一片段索引
2	多帧标志 (MF)	Flags 字段最低位 (6.4.2.15 节)	MF=1 表示中间帧, MF=0 表示尾帧, 确保接收端正确重组数据
3	负载拆分规则	4 字节对齐 (6.3.1.6 节)	单帧最大负载 1024 字节, 超过则拆分, 尾帧包含剩余数据
4	超时控制	多帧总超时为单帧超时的帧数*帧传输时间+10 μs	未收到后续帧时触发重传

7.1.2.3 通信流程示例

BC 发送 FIDX=0、MF=1 的命令帧→RT 接收后返回 FIDX=0、MF=1 的响应帧；
BC 发送 FIDX=1、MF=1 的命令帧→RT 返回 FIDX=1、MF=1 的响应帧；
BC 发送 FIDX=2、MF=0 的尾帧→RT 返回 FIDX=2、MF=0 的响应尾帧，完成多帧交互。

7.1.3 基本重传过程

7.1.3.1 重传机制

总线采用命令响应式通信模式，命令发送方依据响应方的应答消息判定数据完整性。若在设定的超时时间内未收到正确响应帧，发送方将按配置发起重传操作。

7.1.3.2 重传触发条件

当出现以下情况时，命令发送方启动重传流程：

- a) 响应方未在超时时间内返回响应帧；
- b) 收到的响应帧包含错误 (如响应码非“ROK”)。

7.1.3.3 重传操作流程

重传流程如图 14 所示：

- a) 初始命令发送：命令发送方发送初始命令帧，其中 Retry 字段初始值为 0。

- b) 超时检测：发送方启动超时计数器，若超时时间内未收到有效响应，执行下一步。
- c) Retry 字段更新：Retry 字段值递增 1(如首次重传时 Retry=1)，重新封装命令帧。
- d) 重传发送：发送方发送重传命令帧，并重新启动超时计数器。
- e) 循环重传：重复步骤 2-4，直至满足以下任意条件：
- f) 收到响应方返回的正确响应帧(响应码为 0x00)；
- g) 重传次数达到协议配置的最大重传次数(默认最多 3 次重传，Retry 字段最大值为 3)。

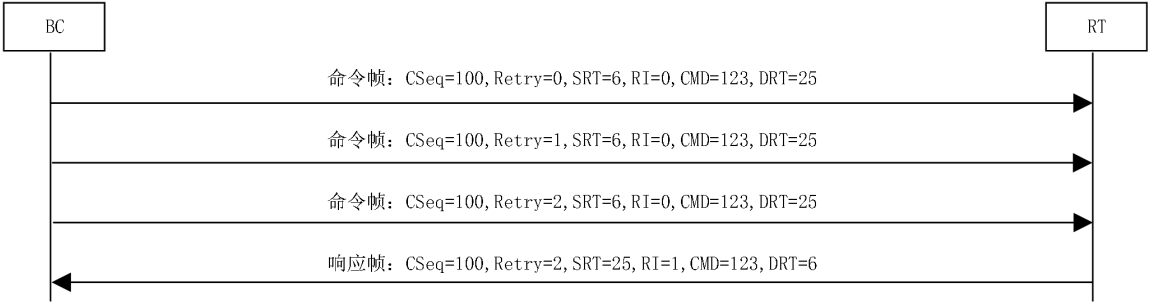


图 14 基本重传过程示意图

7.1.3.4 重传失败处理

当重传次数达到上限仍未收到有效响应时，发送方向主机(Host)返回错误响应码 RC. MRF(消息重传失败)，标识通信失败。

7.1.3.5 关键参数

表 14 关键参数

序号	参数	定义
1	超时时间	可配置，单位为微秒(μs)，1Gbps 速率下默认超时时间为 10 μs，每增加一跳交换机增加 5 μs。
2	最大重传次数	可配置，默认支持 3 次重传(Retry 字段取值范围 0~3)。
3	响应码 RC. MRF	取值 0x89，表示消息重传失败，由传输层上报至应用层。
4	多帧总超时为单帧超时的帧数倍	未收到后续帧时触发重传

7.1.4 多帧重传过程

7.1.4.1 重传触发机制

命令发起者基于以下条件触发多帧重传：

- a) 超时检测：在设定的超时时间内未接收到下一帧的有效帧索引(FIDX)标记；
- b) 响应错误：接收到的响应帧中组合标志(Flags.MF)或帧索引(FIDX)存在异常，无法确认多帧序列完整性。

7.1.4.2 多帧序列完整性判断规则

尾帧识别：通过组合标志字段 Flags.MF 判断多帧序列尾帧：

- a) Flags.MF=0：标识当前帧为尾帧，多帧传输结束；

- b) Flags.MF=1：标识后续仍有帧，需继续接收。
- 帧索引连续性：相邻帧的 FIDX 需满足 $FIDX(n+1)=FIDX(n)+1$ ，否则判定序列中断。

7.1.4.3 重传操作流程

多帧重传流程如图 15 所示：

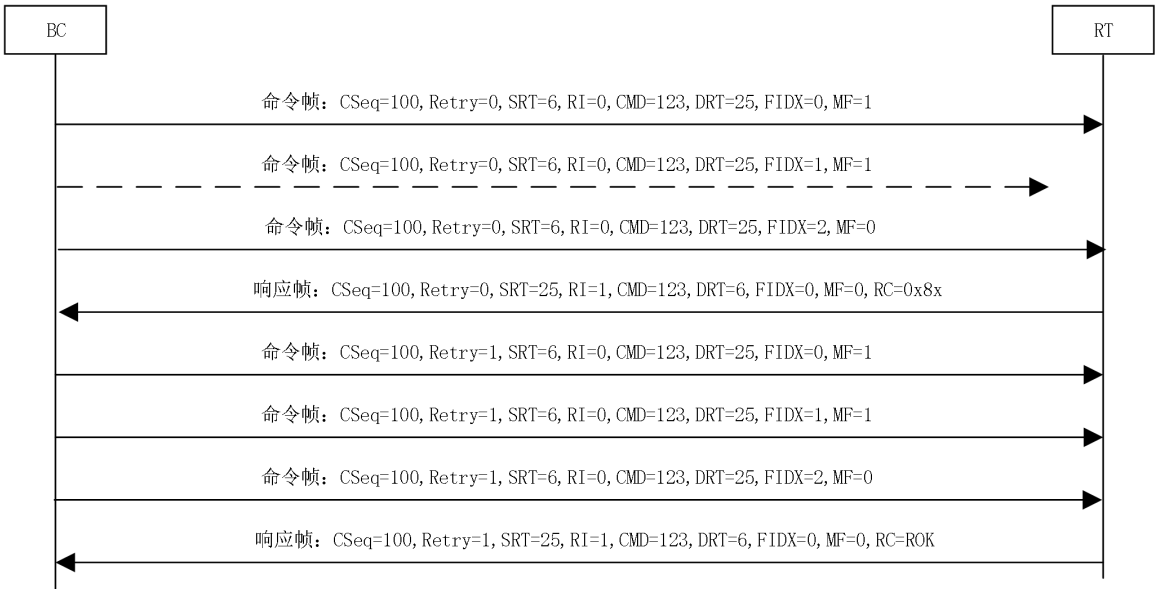


图 15 多帧重传过程示意图

重传操作流程如下：

- a) 初始传输：发送多帧命令序列，首帧 FIDX=0，非尾帧 Flags.MF=1，尾帧 Flags.MF=0；
- b) 超时/错误检测：命令发起者启动超时计数器，若未收到下一帧或接收到错误响应，执行重传；
- c) Retry 字段更新：每次重传时 Retry 字段值递增 1（取值范围 0~3），重新封装命令帧；
- d) 重传发送：携带更新后的 Retry 和原 FIDX、Flags.MF 字段，重新发送中断的多帧序列；
- e) 循环重传：重复步骤 2-4，直至满足以下条件之一：
- 1) 完整接收多帧序列（所有帧 FIDX 连续且尾帧 Flags.MF=0）；
 - 2) 重传次数达到协议上限（默认 3 次重传，Retry=3）。

7.1.4.4 重传失败处理

当重传次数达上限仍未完成多帧序列接收时，命令发起者向主机 (Host) 返回响应码 RC.MRF（消息重传失败，取值 0x89），标识通信失败。

7.1.4.5 关键参数

表 15 关键参数

序号	参数	定义
1	超时时间	可配置，默认值需满足协议要求（如 1Gbps 速率下超时时间≥多帧传输最大耗时）。

表 15 关键参数(续)

序号	参数	定义
2	最大重传次数	默认为 3 次，对应 Retry 字段取值 0~3。
3	响应码 RC. MRF	取值 0x89，由传输层上报至应用层，标识多帧重传失败。
4	帧索引 FIDX	8 位字段，标识多帧序列中的帧序号，范围 0~255。

7.1.5 强制重传过程

7.1.5.1 强制重传机制

总线支持强制重传机制，通过数据帧冗余传输提升通信可靠性。命令发起者通过报文中的组合标志字段(Flags.FR)标识强制重传请求。

7.1.5.2 重传操作流程

重传操作流程如图 16 所示：

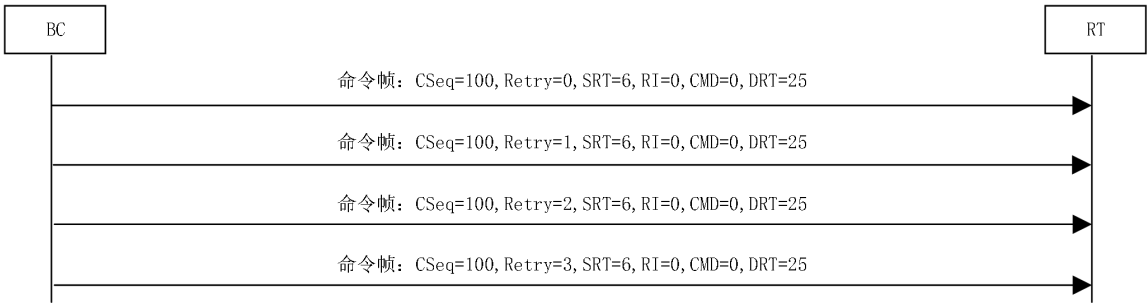


图 16 强制重传过程示意图

流程如下：

- a) 强制重传帧发送：命令发起者发送 Flags.FR=1 的命令帧，此时：
- b) 接收终端接收到该帧后，不返回响应；
- c) 帧中 Retry 字段按实际重传次数递增(如首次强制重传 Retry=1)。
- d) 终止强制重传：命令发起者发送 Flags.FR=0 的命令帧时，接收方恢复正常响应机制，需返回响应帧。
- e) 重传次数限制：强制重传次数受 Retry 字段约束(默认最多 3 次重传，Retry 取值 0~3)。

7.1.5.3 响应机制约定

FR=1 时：响应者对接收到的命令帧不执行响应，仅缓存数据；
FR=0 时：响应者需对最新命令帧返回响应，响应码(RC)需符合协议要求(如 0x0 表示成功)。

7.1.5.4 免响应过程

总线支持免响应通信过程，命令发起者通过 Flags.NR 字段标志位实现免响应过程标识，免响应通信过程中，RT 无需发送响应帧。

7.1.5.5 关键字段定义

表 16 为强制重传关键字段定义。

表 16 关键字段定义

序号	字段	取值/定义
1	Flags.FR	1 位标志位，FR=1 为强制重传帧，FR=0 为普通帧。
2	Retry	2 位字段，重传次数计数器，每次重传递增 1，最大值 3。

7.2 基本消息

7.2.1 基本消息类型

表 17 所示为基本消息类型，以及各个消息的命令源与目的、数据源与目的。

表 17 消息类型定义

序号	消息类型	数据源与目的	命令源	响应源	说明
1	BC-RT	BC→RT	BC	RT	BC 发起向 RT 发送数据，支持多帧传输及免响应
2	BC-RT-B	BC→所有 RT	BC	--	BC 发起向所有 RT 广播数据 (RT=0xFFFF)，不支持响应
3	RT-BC	RT→BC	BC	RT	BC 发起 RT 向 BC 回传数据，支持多帧传输
4	RT-RT	RT1→RT2	BC/RT1	RT2	BC 或 RT1 发起 RT1 向 RT2 发送数据，支持多帧传输及免响应。BC 发起时 CMD=0x2，RT1 发起时 CMD=0x12，RT2 以 CMD=0x2 响应
5	RT-RT-B	RT1→所有 RT	BC	--	BC 发起 RT1 向所有 RT 广播数据 (RT=0xFFFF)，不支持响应
6	RT-RTD	RT1→RT2	RT1	RT2	RT1 发起向 RT2 直接传输数据，不支持多帧传输，支持免响应
7	RT-RTD-B	RT1→所有 RT	RT1	--	RT1 发起向所有 RT 广播数据 (RT=0xFFFF)，不支持响应

7.2.2 BC-RT 消息 (CMD=0x0)

7.2.2.1 消息流程

BC-RT 消息是 BC 向 RT 发送控制指令或数据的过程，目标 RT 需向 BC 返回响应帧，基本流程如图 17 所示。：

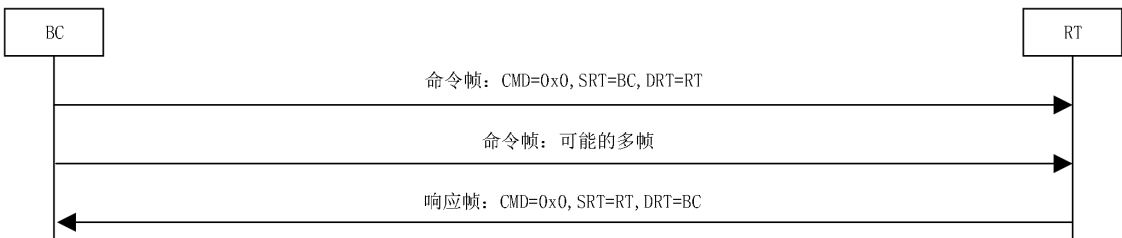


图 17 BC-RT 消息流程示意图

7.2.2.2 消息描述

消息简写格式为：SRT-DRT-SA-R-Len，其中：

- a) SRT: BC 地址；
- b) DRT: 接收命令的 RT 地址；

- c) SA: 子地址;
- d) R(Receive): 标识 DRT 处于接收状态;
- e) Len: 数据负载长度(单位: 字节)。

示例:

2-15-0x34-R-78 表示 BC(SRT=2)向 RT(DRT=15)的 0x34 端口发送 78 字节数据。

7.2.3 BC-RT-B 广播消息 (CMD=0x0)

7.2.3.1 消息流程

BC-RT-B 消息是 BC 向所有 RT 广播数据的过程, 无需响应, DRT 固定为 0xFFFF, 流程如图 18 所示。

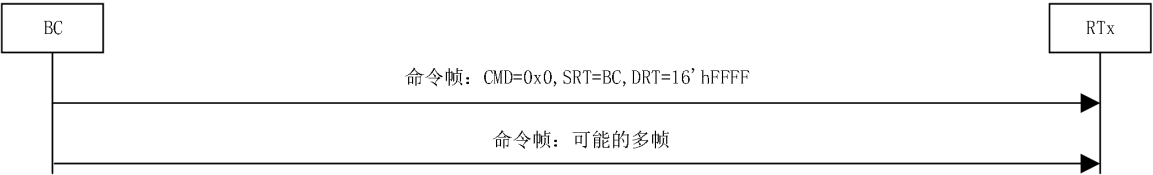


图 18 BC-RT-B 广播消息流程示意图

BC-RT-B 消息无需响应, DRT=0xFFFF。

7.2.3.2 消息描述

消息简写格式为: SRT-B-SA-R-Len, 其中:

B: 广播地址 (DRT=0xFFFF);

其余字段定义同 7.2.2.2。

7.2.4 RT-BC 消息 (CMD=0x1)

7.2.4.1 消息流程

RT-BC 消息是 BC 命令 RT 向 BC 回传数据的过程, RT 核实命令后返回带数据或异常的响应帧, 支持多帧传输, 流程如图 19 所示。



图 19 RT-BC 消息流程示意图

7.2.4.2 消息描述

消息简写格式为: SRT-DRT-SA-T-Len, 其中:

T(Transmit): 标识 DRT 处于发送状态;

其余字段定义同 7.2.2.2。

7.2.5 RT-RT 消息 (CMD=0x2/0x12)

7.2.5.1 消息流程

RT-RT 消息是 BC 调度 RT1 向 RT2 传输数据的过程：

- a) BC 向 RT1 发送命令帧 (CMD=0x2)；
- b) RT1 核实后向 RT2 发送数据帧 (CMD=0x2)；
- c) RT2 接收后向 BC 返回响应帧 (CMD=0x2)，支持多帧传输，流程如图 20 所示。

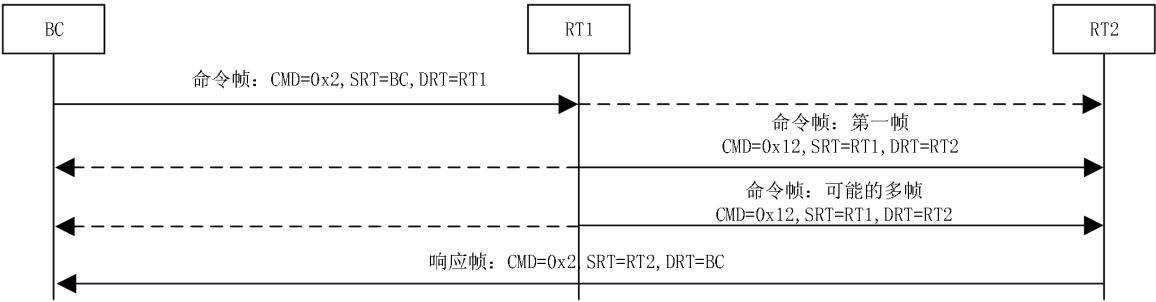


图 20 RT-RT 消息流程示意图

图 20 中，实线表示报文的传输路径。虚线表示这些报文也能够被虚线所指向的终端接收到。

7.2.5.2 消息描述

RT-RT 消息可以简写为如下格式：

SRT-DRT-SA-RT2-Len

SRT 为 BC 地址，DRT 为需要传输数据的 RT 地址，RT2 是接收数据的 RT 地址，Len 标识数据负载长度。

7.2.6 RT-RT-B 广播消息 (CMD=0x2/0x12)

7.2.6.1 消息流程

RT-RT-B 消息是 BC 命令 RT1 向所有 RT 广播数据的过程：

- a) BC 向 RT1 发送广播命令；
- b) RT1 发送 DRT=0xFFFF 的广播帧，不支持响应及多帧传输，流程如图 21 所示。

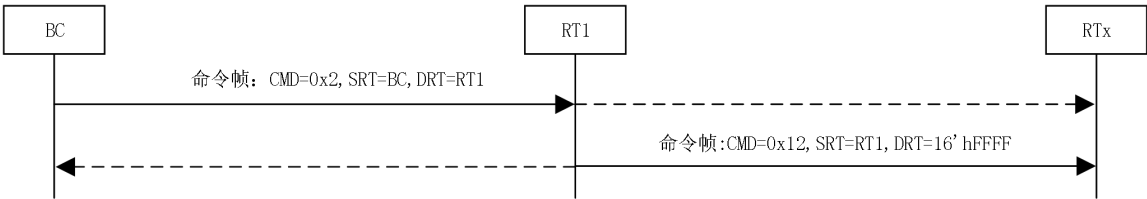


图 21 RT-RT-B 广播消息流程示意图

RT-RT-B 广播消息不支持重传，支持强制重传。

7.2.6.2 消息描述

消息简写格式为：SRT-DRT-B-SA-Len，其中：

- a) B：广播地址 (DRT=0xFFFF)；
- b) 其余字段定义同 7.2.2.2。

7.2.7 RT-RTD 消息 (CMD=0x4)

7.2.7.1 消息流程

RT-RTD 消息是 RT1 直接向 RT2 传输数据的过程(不经过 BC 调度), 支持免响应、重传及强制重传, 不支持多帧, RT-RTD 消息由 GBC 进行调度。流程如图 22 所示。

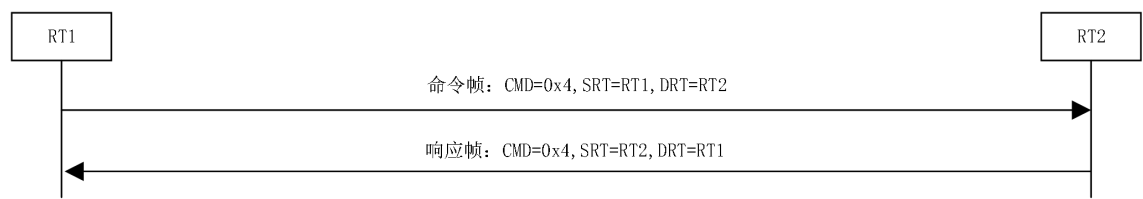


图 22 RT-RTD 消息流程示意图

RT-RTD 直传消息支持免响应、重传、强制重传, 不支持多帧。

7.2.7.2 消息描述

消息简写格式为: SRT-DRT-D-SA-Len, 其中:

- a) D: 标识直传(不经 BC 调度);
- b) SRT: RT1 地址, DRT: RT2 地址;
- c) 其余字段定义同 7.2.2.2。

7.2.8 RT-RTD-B 广播消息 CMD=0x4

7.2.8.1 消息流程

RT-RTD-B 消息是 RT1 直接向所有 RT 广播数据的过程(不经过 BC 调度), 支持强制重传, 不支持响应及多帧, RT-RTD 由 GBC 调度。流程如图 23 所示。

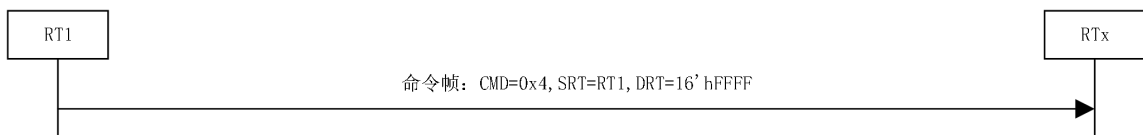


图 23 RT-RTD-B 广播消息流程示意图

RT-RTD-B 直传广播消息不支持响应, 支持强制重传, 不支持多帧。

7.2.8.2 消息描述

消息简写格式为: SRT-B-D-SA-Len, 其中:

- a) SRT: RT1 地址, B: 广播地址(DRT=0xFFFF);
- b) D: 标识直传消息;
- c) 其余字段定义同 7.2.2.2。

7.3 模式消息

7.3.1 模式消息类型

表 18 所示为模式消息的类型, 以及各个模式消息的命令源与目的、数据源与目的。

表 18 模式消息类型

序号	类型	数据源与目的	命令源	响应源	说明
1	mBC	BC→所有 RT	BC	--	BC 发起的总线周期起始广播消息 (RT=0xFFFF)
2	mGBC	BC→所有 RT	BC	--	BC 发起的授权 GBC 起始广播消息 (RT=0xFFFF)
3	mTS	BC⇌RT	BC	RT	BC 发起的时间同步消息, 支持双向负载传输, 负载格式见附录
4	mSNMP	BC⇌RT	BC/RT	RT/BC	网络管理消息, 支持双向负载传输, 负载格式见附录
5	mVWQ	BC⇌RT	BC	RT	BC 发起的矢量字查询消息, 支持双向负载传输, 负载格式见附录

7.3.2 mBC 模式消息 (CMD=0xA)

mBC 模式消息, Mode BC Cycle Start Message, 中文全称 BC 周期起始模式消息, 是由 BC 发起的广播消息, 消息流程如图 24 所示:

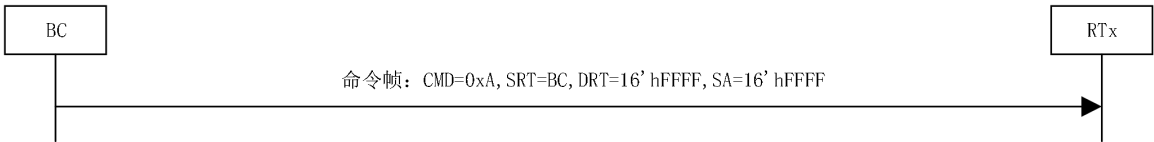


图 24 mBC 消息流程示意图

界定新的总线基本周期开始, 触发各终端同步更新周期时序。

7.3.3 mGBC 消息 (CMD=0xB)

mGBC 消息, Mode Grant BC Cycle Start Message, 中文全称 Grant BC 周期起始模式消息, 是由 BC 发起的广播消息, 消息界定了授权 Grant BC 调度的起始, 消息过程如图 25 所示

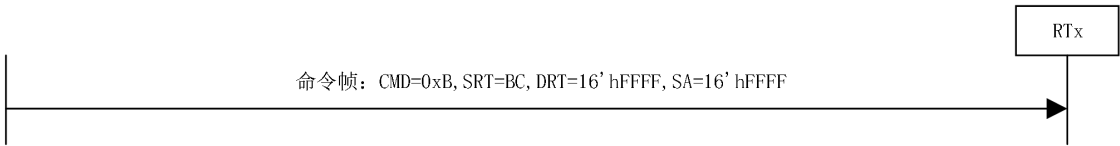


图 25 mGBC 消息流程示意图

界定总线周期内低优先级阶段的开始, 允许低优先级消息进行调度传输。

7.3.4 mTS 消息 (CMD=0xC)

时间同步模式消息 (Mode TimeSync Message), 图 26 所示由 BC 发起的命令响应式双向负载消息。

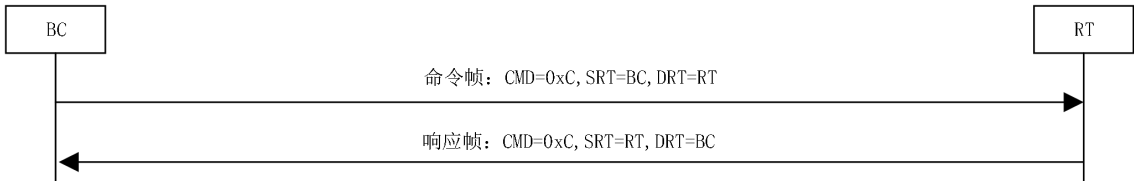


图 26 mTS 消息流程示意图

实现总线内终端的时间同步，通过往返消息交互测量时钟偏差并校准。

7.3.5 mSNMP 消息 (CMD=0xD)

网络管理模式消息 (Mode Simple Network Management Protocol Message)，支持 BC 或 RT 发起的命令响应式双向负载消息。

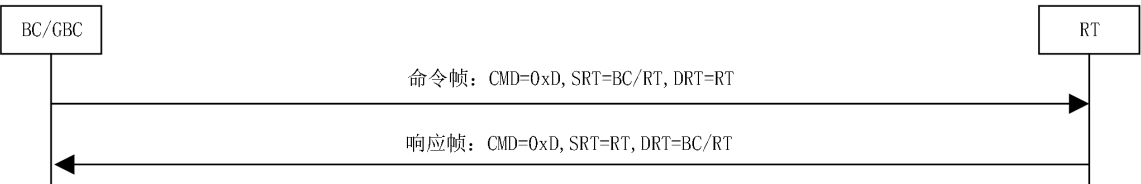


图 27 mSNMP 消息流程示意图

用于总线设备的配置、监控及状态管理，支持寄存器读写等管理操作。

7.3.6 mVWQ 消息 (CMD=0xE)

矢量字查询模式消息 (Mode Vector Word Query Message)，图 28 所示由 BC 发起的命令响应式双向负载消息。

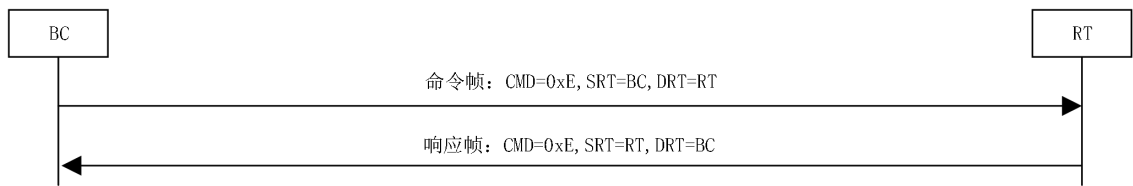


图 28 mVWQ 消息流程示意图

查询目标 RT 的子地址缓冲区数据状态，支持动态带宽管理中的矢量字映射查询。

7.4 消息唯一性

7.4.1 消息唯一性标识

传输层通过消息唯一标识 (UMID, Unique Message Indicator) 实现帧的唯一性识别，UMID 由表 19 所示字段组成：

表 19 UMID 组成

序号	字段	简称	位宽	备注
1	Command Sequence	CSeq	14	消息的顺序序号，一定时间内唯一性
2	Source RT	SRT	16	源 RT 地址

表 19 UMID组成(续)

序号	字段	简称	位宽	备注
3	Response Indicator	RI	1	0 为命令帧，1 为响应帧
4	Command	CMD	5	区分不同命令类型
5	Frame Index	FIDX	8	标识消息内的多帧序列顺序

7.4.2 消息去冗余

终端应具备基于 UMID 的消息去冗余处理能力，具体规则如下：

- a) 冗余检测：接收端记录已处理消息的 UMID，当接收到新消息时，将其 UMID 与历史记录比对；
- b) 重复处理：若 UMID 与历史记录重复，判定为冗余消息，仅首次接收到的消息上传至应用层；
- c) 时效性管理：UMID 记录需附加时间戳，超过老化时间(默认 10 秒)的记录自动失效。

本机制确保重传或冗余消息仅被处理一次，避免应用层重复接收数据，提升总线传输效率。

8 传输层

8.1 总线调度

8.1.1 总线角色

100M 数据传输总线的角色如表 20 所示：

表 20 总线角色定义

序号	名称	缩略语	中文名称	功能
1	Bus Controller	BC	总线控制器	总线调度控制器，控制总线的周期调度、发送总线消息命令、授权 GBC 调度
2	Grant Bus Controller	GBC	授权的总线控制器	授权总线控制器，经 BC 授权后行使总线调度的 RT 节点
3	Remote Terminal	RT	远程终端	在总线控制器下进行数据的接收和发送等操作
4	Bus Monitor	BM	总线监视器	执行总线的监视

8.1.2 总线基本周期

100M 数据传输总线支持总线通信周期化，总线基本周期从 500us~1S 内可配置，BC 通过发送 mBC 消息控制总线的基本周期，两个 mBC 之间的时间就是配置的总线基本周期。

8.1.3 总线调度

8.1.3.1 总线调度方式

四种总线调度方式在基本周期内的时序分布如图 29 所示，展示了不同优先级调度类型在时间轴上的执行顺序与阶段划分。

表 21 总线调度方式定义

序号	调度类型	缩略语	英文名称
1	周期高优先级	PH	Period High Priority
2	周期低优先级	PL	Period Low Priority
3	非周期高优先级	NPH	Non-Period High Priority
4	非周期低优先级	NPL	Non-Period Low Priority

8.1.3.2 总线调度时序

8.1.3.2.1 调度时序图

图 28 所示为四种总线调度方式在基本周期时间轴上的调度方法。

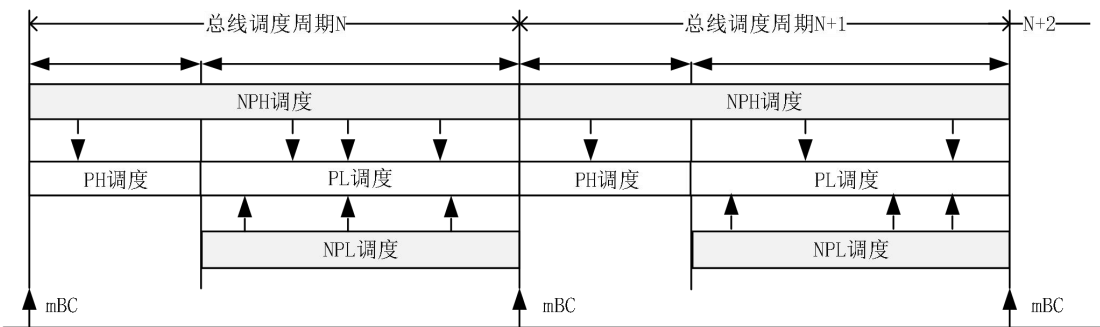


图 29 调度时序示意图

8.1.3.2.2 总线基本周期控制

BC 通过广播 mBC 消息触发总线基本周期的起始，该消息用于同步全网终端的周期时序，相邻 mBC 消息的时间间隔即为配置的总线基本周期时长。

8.1.3.2.3 周期高优先级调度 (PH)

- a) 执行主体：BC 依据 PH 调度表发起；
- b) 优先级：4；
- c) 时序控制：PH 调度结束后，BC 发送 mGBC 消息切换至低优先级阶段。

8.1.3.2.4 非周期高优先级调度 (NPH)

- a) 执行条件：
 - 1) 总线基本周期内；
 - 2) 前一消息执行完毕；
 - 3) 满足周期保护带时间要求；
- b) 优先级：5；
- c) 触发机制：BC 实时检测条件满足后立即发起。

8.1.3.2.5 周期低优先级调度 (PL)

- a) 执行主体：BC 依据 PL 调度表发起；
- b) 优先级：1；

c) 时序范围：仅在低优先级阶段内执行。

8.1.3.2.6 非周期低优先级调度 (NPL)

- a) 执行条件：
 - 1) 处于总线低优先级阶段；
 - 2) 前一消息执行完毕；
 - 3) 满足周期保护带时间要求；
- b) 优先级：2；
- c) 触发机制：BC 检测条件满足后立即发起。

8.1.4 单周期消息与多周期消息

基本周期是总线定义的最小时间周期单位，所有消息的执行均为基本周期的整数倍。

单周期消息：配置为每个基本周期执行一次的消息。图 30 所示为单周期执行示意图。

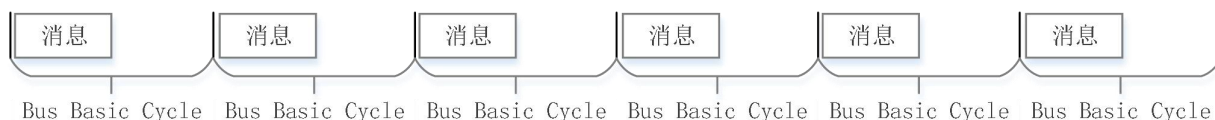


图 30 单周期消息示意图

多周期消息：配置为每 N 倍基本周期 ($N > 1$) 执行一次的消息。图 31 所示为单周期执行示意图。

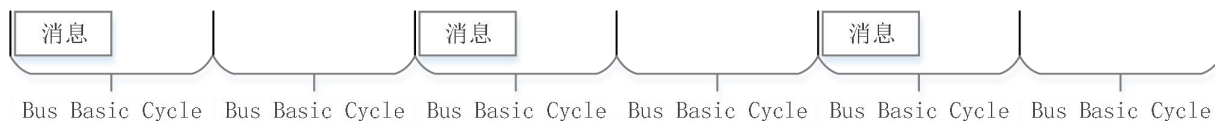


图 31 多周期消息示意图

8.1.5 消息相位

消息在完整周期(单周期或多周期)内的起始周期位置。通过配置起始周期实现消息分散调度，避免多消息周期冲突导致空周期或执行不完全。



图 32 多相位消息示意图

示例(图 32)：

消息 1：多周期=2，相位=1(第 1 个基本周期起始)；

消息 2：多周期=2，相位=2(第 2 个基本周期起始)。

8.1.6 动态带宽管理

8.1.6.1 动态带宽实现基础

图 33 所示，动态带宽管理是通过周期低优先级(PL)调度消息的周期内循环执行及矢量字查询(mVWQ)机制实现基本周期剩余带宽分配的方法。



图 33 动态带宽管理示意图

8.1.6.2 矢量字查询 (mVWQ) 机制

消息结构：mVWQ 消息包含目标 RT 终端的子地址 (SA) 查询列表；
触发条件：当查询到 SA 子地址存在待发送数据时，BC 按预编辑的调度表发起 RT 终端数据传输；
异常处理：若 SA 子地址无数据，BC 继续查询后续地址或终止访问。

8.1.6.3 周期低优先级 (PL) 调度循环机制

配置要求：PL 调度表支持周期内循环执行配置。
执行条件：BC 启用 PL 循环模式且当前总线剩余时间满足周期保护带要求时，启动循环调度。
时序控制：循环执行过程中，每轮调度需确保下一轮周期起始前预留足够保护带时间。

8.1.6.4 带宽分配流程

- a) BC 通过 mVWQ 消息查询 RT 终端 SA 缓冲区状态；
- b) 命中待发送数据的 SA 终端，按预调度表执行数据传输；
- c) 完成高优先级调度后，启用 PL 循环模式填充剩余带宽；
- d) 每轮 PL 调度前校验剩余时间是否满足保护带要求，不满足则终止循环。

8.2 总线运行

8.2.1 总线基本周期控制

8.2.1.1 mBC 消息格式

总线基本周期控制通过 BC 发送 mBC 广播消息实现，消息格式如图 34 所示。该消息为传输层消息，负载长度 (Head.PLen) 为 24 字节，字段定义如表 22 所示：

字段/位序	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0		
Head	Proto								Version				0	Pri = 7			Command Sequence																Retry	
	Source RT = NC																0	Fixed		Command=0xA				Frame Index=0										
	Destination RT = 0xFFFF																SA=0xFFFFF																	
	Payload Length=24																Flags = 0x4				Response Code = 0x0													
Payload[04:01]	Bus Basic Cycle[31:0]-总线基本周期，单位1us/0.5us																																	
Payload[08:05]	Bus Basic Cycle Remaining Time[31:0]-当前总线基本周期剩余时间，单位1us/0.5us																																	
Payload[12:09]	Cycle Count[63:32]-当前总线周期计数器																																	
Payload[16:13]	Cycle Count[31:00]-当前总线周期计数器																																	
Payload[20:17]	BC Address																U	RSVD																
Payload[24:21]	BC Grant Time-分配给BC的总线使用时间																																	
FCS	Frame Check Sequence																																	

图 34 mBC 消息格式

mBC 字段说明如表 22 所示：

表 22 mBC 消息字段说明

序号	字段名称/位置	取值	说明
1	Head. Proto	固定值	0x59
2	Head. Version	固定值	版本为 1
3	Head. Pv	0	广播
4	Head. Pri	7	mBC 具有最高优先级
5	Head. CSeq	BC 管理	
6	Head. Retry	0	mBC 不支持重传
7	Head. SRT	BC 地址	
8	Head. RI	0	命令帧
9	Head. SA	0x3	Fixed 服务类型
10	Head. CMD	0xA	mBC 命令为 0xA
11	Head. FIDX	0x0	mBC 命令不支持多帧序列
12	Head. DRT	0xFFFF	mBC 为广播消息
13	Head. SA	0xFFFF	mBC 为广播子地址，默认接收
14	Head. PLen	16	24 字节的负载
15	Head. Flags	0x04	Flags. NR=1，免响应
16	Head. RC	0x0	RC=0x0
20	Payload[18:17][14:0]	RSVD	保留
21	Payload[18:17][15]	Unit	总线周期单位 =0，1us 为单位，默认值 =1，0.5us 为单位
22	Payload[20:19]	BC RT Address	BC 地址
23	Payload[24:21]	BC Grant Time	BC 授权的总线使用时间

8.2.1.2 消息处理机制

RT 终端接收 mBC 广播消息后，解析以下关键信息并更新本地寄存器：

- a) 总线基本周期配置值 (Bus Basic Cycle)；
- b) BC 地址 (Head. SRT)；
- c) 周期单位 (Unit) 及剩余时间 (Bus Basic Cycle Remaining Time)。
- d) 上述信息用于后续通信的时序控制与调度同步。

8.2.2 总线授权

8.2.2.1 总线授权消息 mGBC

100M 数据传输总线支持授权管理，授权管理是指 BC 将总线的控制权授权给 Grant BC 的过程，BC 节点通过发送 mGBC 模式消息将总线控制权授权给指定的 RT 节点，此时这个 RT 节点成为 GBC，Grant BC，通过授权，GBC 具备了执行主动发送总线消息命令发送的能力。

总线授权如图 35 所示：

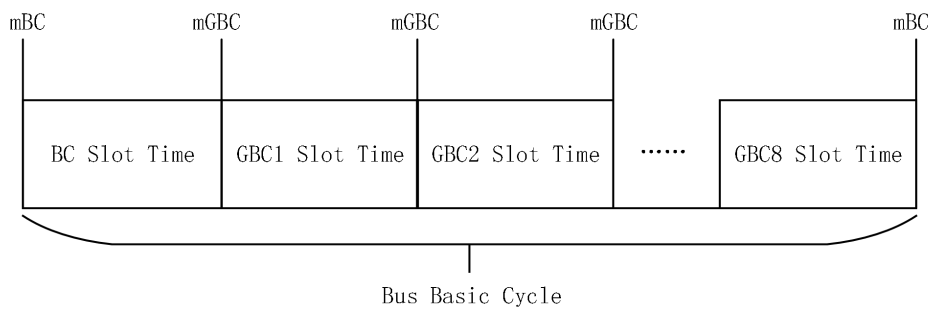


图 35 总线授权

对于一个需要应用总线授权的 100M 数据传输总线网络,BC 应具备一组配置控制总线授权的信息，这些信息如表 23 所示：

表 23 授权信息

序号	配置信息	中文全称	功能
1	GBC RT Address	GBC 的 RT 地址	可以包含 1 个或多个总线的 RT 地址，这取决于设计资源保证
2	GBC Time	GBC 的授权时间	GBC 授权后获得的总线控制权时间
3	GBC Enable	GBC 使能	BC 端可以控制 GBC 的授权是否开启

授权给各个 GBC 的时间之和应小于等于 Bus Cycle，当配置不合理时，协议栈应计算当前总线周期剩余时间，并分配总时间小于 Bus Cycle 的授权时间，确保 Bus Cycle 的具有最高优先级的时间特性。

使能的 GBC，当授权时间 GBC Time 为 0 时，协议栈可以不发送 mGBC 消息给予授权。

总线授权控制通过 BC 发送 mGBC 广播消息实现，mGBC 消息格式如图 36 所示：

字段/位序	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Head	Proto								Version				0	Pri = 7			Command Sequence												Retry			
	Source RT = NC																0	Fixed		Command=0xA				Frame Index=0								
	Destination RT = 0xFFFF																SA=0xFFFFF															
	Payload Length=24																Flags = 0x4						Response Code = 0x0									
Payload[04:01]	Bus Basic Cycle[31:0]-总线基本周期，单位1us/0.5us																															
Payload[08:05]	Bus Basic Cycle Remaining Time[31:0]-当前总线基本周期剩余时间，单位1us/0.5us																															
Payload[12:09]	Cycle Count[63:32]-当前总线周期计数器																															
Payload[16:13]	Cycle Count[31:00]-当前总线周期计数器																															
Payload[20:17]	BC Address																U	RSVD														
Payload[24:21]	BC Grant Time-分配给BC的总线使用时间																															
FCS	Frame Check Sequence																															

图 36 mGBC 消息格式

mGBC 消息是传输层消息，Head.PLen=24 字节，定义如表 24 所示：

表 24 mGBC 字段解析

序号	字段名称/位置	取值	说明
1	Head.Proto	默认值	0x59
2	Head.Version	默认值	版本为 1
3	Head.Pv	默认值	
4	Head.Pri	6	mGBC 具有次高优先级
5	Head.CSeq	BC 管理	
6	Head.Retry	0	mGBC 不支持重传
7	Head.SRT	BC 地址	
8	Head.RI	0	命令帧
9	Head.SAST	0x3	Fixed 服务类型
10	Head.CMD	0xB	mGBC 命令为 0xB
11	Head.FIDX	0x0	mGBC 命令不支持多帧序列
12	Head.DRT	0xFFFF	mGBC 为广播消息
13	Head.SA	0xFFFF	mGBC 为广播子地址，默认接收
14	Head.PLen	24	24 字节的负载
15	Head.Flags	0x04	Flags.NR=1，免响应
16	Head.RC	0x0	RC=0x0
17	Payload[04:01]	Bus Basic Cycle	当前总线基本周期配置值，单位为 Unit 表示的值
18	Payload[08:05]	Bus Basic Cycle Remaining Time	当前总线周期剩余时间，单位为 Unit 表示的值
19	Payload[16:09]	Bus Cycle Count	总线周期执行计数
20	Payload[18:17]	Grant Guard Band	授权时隙保护带，单位为 Unit 表示的值
21	Payload[20:19]	Grant BC Address	被授权的 GBC 地址 (RT 地址)
22	Payload[24:21]	GBC Grant Time	GBC 授权获取的总线使用时间

配置为 GBC 角色的 RT 节点接收到 BC 广播的 mGBC 消息，当本地 RT 地址与 Grant BC Address 相同时，获得总线控制的授权，授权使用总线的时间长度为 GBC Grant Time，授权保护带时间为 Grant Guard Band，当前总线基本周期剩余时间为 Bus Basic Cycle Remaining Time。

8.2.2.2 消息处理机制

- a) BC 发送广播:BC 授权配置发送 mGBC 广播消息,消息中携带当前总线基本周期配置 (Bus Basic Cycle)、剩余时间 (Bus Basic Cycle Remaining Time)，被授权的 GBC 信息、授权时间、保护带等参数。
- b) RT 终端接收解析: RT 终端接收到消息后，执行以下操作：

- 1) 提取 Bus Basic Cycle Remaining Time 字段，获取当前周期剩余时间；
- 2) 更新本地时序寄存器，用于直传调度的时间约束(如直传调度需在周期剩余时间内完成)；
- c) 对于命中的 GBC 终端，提取授权时间、保护带信息：
 - 1) 接管总线的控制权；
 - 2) 依据调度表发起周期消息，或触发非周期消息；
 - 3) GBC 可以发起 RT-RTD 直传消息。

8.2.3 总线保护带

总线保护带是指在当前总线基本周期结束前，为确保下一周期起始消息(mBC)能准时广播而预留的静默时间窗口。作为 100M 数据传输总线时序管理的核心保障机制，该时间片段需满足以下要求：

- a) 时序保障：需确保 mBC 消息在新周期起始时刻前完成全网广播，避免因传输延迟导致时序混乱；
- b) 静默约束：保护带期间，总线各终端应停止非必要数据传输，确保 mBC 消息的传输优先级与实时性。

这一机制通过严格划分时间片段，保障了总线基本周期的完整性和时序同步精度，是 100M 数据传输总线实现确定性调度的关键环节。

8.2.4 矢量字查询

8.2.4.1 概述

mVWQ(矢量字查询)消息用于查询目标 RT 终端的子地址(SA)缓冲区队列是否存在待发送数据，其中“矢量字”指通过比特映射标识队列状态的二进制序列。该消息由 BC(总线控制器)发起，目标 RT 终端响应，采用双向负载传输机制。

8.2.4.2 矢量字 mVWQ 消息命令

mVWQ 命令帧格式符合图 37 所示结构，字段解析如表 25 所示：

字段/位序	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Head	Proto									Version				Pv	Pri		Command Sequence															Retry
	Source RT															0	Fixed	Command=0xE					Frame Index=0									
	Destination RT															SA = 0xFFFF																
	Payload Length=4															Flags = 0					Response Code = 0											
Payload[04:01]	Start SA															Bit Mask																
FCS	Frame Check Sequence																															

图 37 mVWQ 命令帧格式

表 25 mVWQ 命令帧字段说明

序号	字段名称/位置	取值	说明
1	Head.Proto	默认值	0x59
2	Head.Version	默认值	版本为 1

表 25 mVWQ命令帧字段说明 (续)

序号	字段名称/位置	取值	说明
3	Head. Pv	默认值	0
4	Head. Pri	调度类型确定	NPH 调度优先级为 5 PH 调度优先级为 4 NPL 调度优先级为 2 PL 调度优先级为 1
5	Head. CSeq	BC 管理	
6	Head. Retry	重传	支持重传
7	Head. SRT	BC 地址	
8	Head. RI	0	命令帧
9	Head. SA	0x3	Fixed 服务类型
10	Head. CMD	0xE	mVWQ 命令为 0xE
11	Head. FIDX	0x0	mVWQ 不支持多帧序列
12	Head. DRT	RT Address	目标查询 RT 地址
13	Head. SA	0xFFFF	mVWQ 为广播子地址，默认接收
14	Head. PLen	4	4 字节的负载
15	Head. Flags	0x0	Flags=0x0
16	Head. RC	0x0	RC=0x0
17	Payload[02:01]	Bit Mask	子地址比特映射掩码
18	Payload[04:03]	Start SA	查询的目标 RT 的起始 SA

8.2.4.3 查询机制与规则

8.2.4.3.1 查询范围

BC 通过命令帧可查询连续 16 个 SA 地址，由以下字段控制：

- a) Start SA(Payload[04:03])：指定查询的首个 SA 地址(如 0x1000)；
- b) Bit Mask(Payload[02:01])：16 位二进制掩码，每比特对应一个 SA(如 Bit Mask[0]对应 Start SA，Bit Mask[1]对应 Start SA+1，依此类推)。

8.2.4.3.2 查询逻辑

- a) 若 BitMap 某比特位为 1，则查询对应 SA 是否有待发送数据；
- b) 若为 0，则跳过该 SA 查询。

示例：

Start SA=0x1000，BitMap=0x0001(二进制 0000000000000001)，表示仅查询 SA=0x1000。

8.2.4.4 矢量字 mVWQ 消息响应

mVWQ 响应帧格式符合图 38 所示，字段解析如表 26 所示。

字段/位序	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Head	Proto									Version				Pv	Pri	Command Sequence																Retry
	Source RT														1	Fixed		Command=0xE				Frame Index=0										
	Destination RT														SA = 0xFFFF																	
	Payload Length=4														Flags = 0						Response Code = 0											
	Payload[04:01]	Start SA														Vector Bit Map																
FCS	Frame Check Sequence																															

图 38 mVWQ 响应帧格式

表 26 mVWQ 响应帧字段说明

序号	字段名称/位置	取值	说明
1	Head.Proto	默认值	0x59
2	Head.Version	默认值	版本为 1
3	Head.Pv	默认值	0
4	Head.Pri	调度类型确定	NPH 调度优先级为 5 PH 调度优先级为 4 NPL 调度优先级为 2 PL 调度优先级为 1
5	Head.CSeq	BC 管理	
6	Head.Retry	重传	支持重传
7	Head.SRT	BC 地址	
8	Head.RI	0	命令帧
9	Head.SA	0x3	Fixed 服务类型
10	Head.CMD	0xC	mVWQ 命令为 0xE
11	Head.FIDX	0x0	mVWQ 命令不支持多帧序列
12	Head.DRT	RT Address	目标查询 RT 地址
13	Head.SA	0xFFFF	mVWQ 为广播子地址，默认接收
14	Head.PLen	4	4 字节的负载
15	Head.Flags	0x0	Flags=0x0
16	Head.RC	0x0	RC=0x0
17	Payload[04:03]	Start SA	查询的目标 RT 的起始 SA
18	Payload[04:03]	Vector Bit Map	比特映射的矢量字

8.2.4.5 查询流程与动态带宽管理

8.2.4.5.1 协议栈处理

- a) RT 接收到命令帧后，快速检索 SA 队列状态，生成 Vector BitMap 响应；
- b) 若某 SA 有待发送数据，对应比特位设为 1，否则设为 0。

8.2.4.5.2 BC 调度逻辑

- a) BC 根据 Vector BitMap 中为 1 的比特位，跳转至总线调度表中对应的消息条目；
- b) 结合 PL (周期低优先级) 调度的循环机制，实现动态带宽分配。

8.2.4.5.3 应用场景

该机制通过“查询-响应-调度”闭环，使总线资源优先分配至有数据待发送的 SA，提升带宽利用率与实时性。

9 应用层

9.1 时间同步与延迟测量

9.1.1 报文格式要求

9.1.1.1 时间同步报文格式

时间同步命令报文格式如图 39 所示：

字段/位序	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	
Head	Proto								Version				Pv	Priority				Command Sequence												Retry			
	Source RT												RI		Fixed		Command=0xC						Frame Index										
	Destination RT												SA = 0xFFFF																				
	Payload Length = 36												Flags						Response Code														
Payload[04:01]	T1_TimeStamp[63:32]																																
Payload[08:05]	T1_TimeStamp[31: 0]																																
Payload[12:09]	T2_TimeStamp[63:32]																																
Payload[16:13]	T2_TimeStamp[31: 0]																																
Payload[20:17]	T3_TimeStamp[63:32]																																
Payload[24:21]	T3_TimeStamp[31: 0]																																
Payload[28:25]	T4_TimeStamp[63:32]																																
Payload[32:29]	T4_TimeStamp[31: 0]																																
Payload[44:41]	RTT																																
FCS	Frame Check Sequence																																

图 39 时间同步命令报文格式

9.1.1.2 mTS 消息报文头映射

表 27 所示为 mTS 消息报文头字段要求。

表 27 mTS 报文字段说明

序号	字段名称/位置	取值	说明
1	Head.Proto	默认值	0x59
2	Head.Version	默认值	版本为 1
3	Head.Pv	默认值	软件配置
4	Head.Pri	调度类型确定	NPH 调度优先级为 5 PH 调度优先级为 4 NPL 调度优先级为 2 PL 调度优先级为 1

表 27 mTS报文字段说明(续)

序号	字段名称/位置	取值	说明
5	Head. CSeq	BC 管理	
6	Head. Retry	重传	支持重传
7	Head. SRT	Master 终端地址	
8	Head. RI	帧类型	命令帧=0；响应帧=1
9	Head. SA	0x3	Fixed 服务类型
10	Head. CMD	0xC	mTS 命令为 0xC
11	Head. FIDX	0x0	单帧
12	Head. DRT	同步 Slave 终端地址	
13	Head. SA	0xFFFF	
14	Head. PLen	440	440 字节的负载
15	Head. Flags	单帧	与 Flgas 要求一致
16	Head. RC		RC=0x0

9.1.1.3 mTS 负载时间同步部分

mTS 负载包含由两部分组成，表 28 为时间同步负载部分。

表 28 mTS 时间同步负载字段说明

序号	字段名称/位置	内容	说明
1	Payload[04:01]	T1_TimeStamp[63:32]	BC 发送 mTS 命令帧的 BC 时间高 32 位
2	Payload[08:04]	T1_TimeStamp[31: 0]	BC 发送 mTS 命令帧的 BC 时间低 32 位
3	Payload[12:09]	T2_TimeStamp[63:32]	RT 接收 mTS 命令帧的 RT 时间高 32 位
4	Payload[16:13]	T2_TimeStamp[31: 0]	RT 接收 mTS 命令帧的 RT 时间低 32 位
5	Payload[20:17]	T3_TimeStamp[63:32]	RT 发送 mTS 响应帧的 RT 时间高 32 位
6	Payload[24:20]	T3_TimeStamp[31: 0]	RT 发送 mTS 响应帧的 RT 时间低 32 位
7	Payload[28:25]	T4_TimeStamp[63:32]	BC 接收 mTS 响应帧的 BC 时间高 32 位
8	Payload[32:29]	T4_TimeStamp[31: 0]	BC 接收 mTS 响应帧的 BC 时间低 32 位
9	Payload[36:33]	RTT[31:0]	往返延迟

9.1.2 时间同步过程

9.1.2.1 时间同步角色

100M 数据传输总线采用主从式时间同步方法，其中主终端定义为时间同步主设备(TimeSync Master)，从终端定义为时间同步从设备(TimeSync Slave)。

9.1.2.2 时间同步流程规范

时间同步过程如图 40 所示：

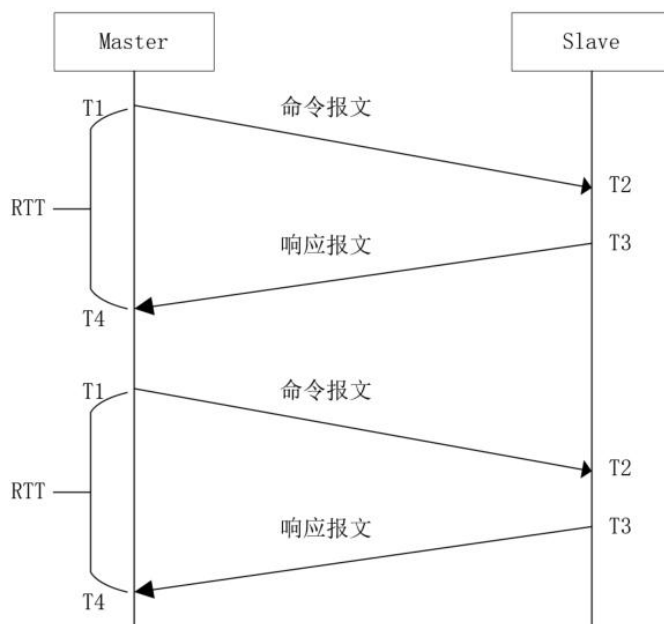


图 40 时间同步流程示意图

时间同步通过 mTS 消息交互实现，具体流程应遵循以下步骤(图 40)：

- 主终端发起同步：主设备(TimeSync Master)发送 mTS 命令报文，需在报文负载字段精确记录并附加报文发送时刻 T1；
- 从终端接收处理：从设备(TimeSync Slave)接收 mTS 命令报文，记录报文接收时刻 T2；
- 从终端响应反馈：从设备(TimeSync Slave)发送响应报文，需将已记录的接收时刻 T2，以及响应报文的发送时刻 T3，同步附加至响应报文负载字段；
- 主终端完成同步：主设备(TimeSync Master)接收响应报文，记录报文接收时刻 T4，完成一轮时间同步交互。

9.1.3 终端操作流程

9.1.3.1 时间同步主设备(TimeSync Master)

BC 应按调度表配置生成 mTS 消息，构造命令报文时需：

- 置位往返时间(RTT)字段为有效状态；
- 其他字段按预留状态处理。

9.1.3.2 BC 数据链路层传输端口

报文经 BC 数据链路层传输端口时，应执行，将 mTS 命令报文中的 T1 时间戳(T1_TimeStamp)更新为本地实时时间戳。

9.1.3.3 RT 数据链路层接收端口

报文到达 RT 数据链路层接收端口时，应将 mTS 命令报文中的 T2 时间戳(T2_TimeStamp)更新为本地时间戳。

9.1.3.4 时间同步从设备(TimeSync Slave)

RT 应执行以下操作：

- a) 提取命令报文中的 T1_TimeStamp、T2_TimeStamp 及 Resp Correct Field;
- b) 进行时钟同步计算与差值 (DIFF) 计算;
- c) 构造 mTS 响应报文, 处理要求如下:
 - 1) 填充 DIFF 计算结果;
 - 2) 将命令报文的 T1_TimeStamp、T2_TimeStamp 复制到响应报文对应字段;
 - 3) 将命令报文的 Resp Correct Field 复制到响应报文的请求校正字段 (Req Correct Field)。

9.1.3.5 RT 数据链路层传输端口

响应报文经 RT 数据链路层传输端口时, 应将 T3 时间戳 (T3_TimeStamp) 更新为本地时间戳。

9.1.3.6 BC 数据链路层接收端口

响应报文到达 BC 数据链路层接收端口时, 应:

- a) 将 T4 时间戳 (T4_TimeStamp) 更新为本地时间戳;
- b) 重新计算帧校验序列 (FCS) 值。

9.1.3.7 时间同步主设备 (TimeSync Master)

报文到达 BC 后, 应执行:

- a) 提取报文中的 T1_TimeStamp、T2_TimeStamp、T3_TimeStamp、T4_TimeStamp;
- b) 按以下算法计算目标 RT 的往返时间 (RTT):

$$RTT = (T4_TimeStamp - T1_TimeStamp) - (T3_TimeStamp - T2_TimeStamp) - Req_cf_field - Resp_cf_field$$

9.2 网络管理

9.2.1 网络管理过程

9.2.1.1 网络管理通用报文要求

100M 数据传输总线的网络管理是通过 mSNMP 消息对终端的寄存器访问的过程。通用 mSNMP 消息格式要求如图 41 所示, 表 29 所示为 mSNMP 报文字段说明:

字段/位序	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Head	Proto								Version				Pv	Pri	Command Sequence														Retry			
	Source RT												RI	Fixed	Command=0xD				Frame Index=0													
	Destination RT												SA = 0xFFFF																			
	Payload Length												Flags				Response Code															
Payload[04:01]	SNMP Request/Response-ID												SNMP Command Number																			
Payload[08:05]	SNMP Idertifier = 0x289E												SNMP Command				SNMP Response Code															
Payload[12:09]	Payload																															
Payload[16:13]																																
Payload[20:17]																																
Payload[24:21]																																
FCS	Frame Check Sequence																															

图 41 mSNMP 管理通用报文格式

表 29 mSNMP 报文字段说明

序号	字段名称/位置	取值	说明
1	Head. Proto	默认值	0x59
2	Head. Version	默认值	版本为 1
3	Head. Pv	调度确认	由调度类型确认
4	Head. Pri	调度类型确定	NPH 调度优先级为 5 PH 调度优先级为 4 NPL 调度优先级为 2 PL 调度优先级为 1
5	Head. CSeq	BC 管理	
6	Head. Retry	重传	支持重传
7	Head. SRT	BC 地址	
8	Head. RI	0/1	命令帧/响应帧
9	Head. SAST	0x3	Fixed 服务类型
10	Head. CMD	0xD	mSNMP 命令为 0xD
11	Head. FIDX	0x0	mSNMP 命令不支持多帧序列
12	Head. DRT	DRT 终端地址	mSNMP 不支持广播
13	Head. SA	0xFFFF	mSNMP 为固定 0xFFFF
14	Head. PLen	实际负载长度	44 字节的负载
15	Head. Flags	0x0	Flags=0x0
16	Head. RC	0x0	RC=0x0
17	SNMP Requeset/Response-ID	0~65535	用于 SNMP 管理访问的序列号，每个完整的 SNMP 管理命令执行完++
18	SNMP Command Number	0~(MTU-4)/8	单位：命令个数，每个命令占用 8 个字节 负载长度，不超过协议最大负载长度
19	SNMP Command	0b0000	Set_Request→mSNMP Command
		0b0001	Set_Response→mSNMP Response
		0b0010	Get_Reqeust→mSNMP Command
		0b0011	Get_Response→mSNMP Response
		0b0100	OpResult_Request→mSNMP Command
		0b0101	OpResult_Response→mSNMP Response
20	SNMP Identifier	0x289E	用于识别 SNMP 管理的数据字段有效，识别码不正确的 SNMP 报文将不对寄存器进行访问配置

表 29 mSNMP报文字段说明(续)

序号	字段名称/位置	取值	说明
21	SNMP Response Code	0x00	ROK
		0x81	Busy, 正在执行 Get/Set 命令, 接收到了新的 SNMP 管理命令, 这个命令将会被丢弃
		0x82	XERR, 协议错误, 重传帧的 SNMP ID/CSEQ 不匹配
		0x83	OpERR, 收到没有 Get/Set 前序命令的 OpResult 命令, SNMP 管理协议错误
		0x84	NoSupport, 收到不支持的 SNMP 管理命令
		0x85	Empty, OpResult Empty, 正在处理数据, 还没有处理完
		0x86	SRT Error, SNMP 管理命令碰撞, SRT 切换
		0x87	SNMP ID Error, ID Error 与正在处理的报文冲突

9.2.1.2 网络管理命令类型

一个 SNMP 管理包含三种命令，分别是：

- a) Get, Get 命令映射为远程寄存器读取，Get 命令用于发起寄存器写操作；
- b) Set, Set 命令映射为远程寄存器写入，Set 命令用于发起寄存器写操作；
- c) OpResult, OpResult 是获取 Get、Set 的结果。

9.2.2 寄存器写

9.2.2.1 寄存器写过程

9.2.2.1.1 寄存器写操作

寄存器写过程支持一个或多个组寄存器写同时下发，终端应支持寄存器写访问过程，并返回正确与异常操作的结果。

SNMP 管理寄存器写操作由 Set + OpResult 组成，其中 OpResult 操作可能包含多个，由 OpResult 命令的响应判断。

9.2.2.1.2 寄存写器流程

寄存器写过程流程如图 42 所示：

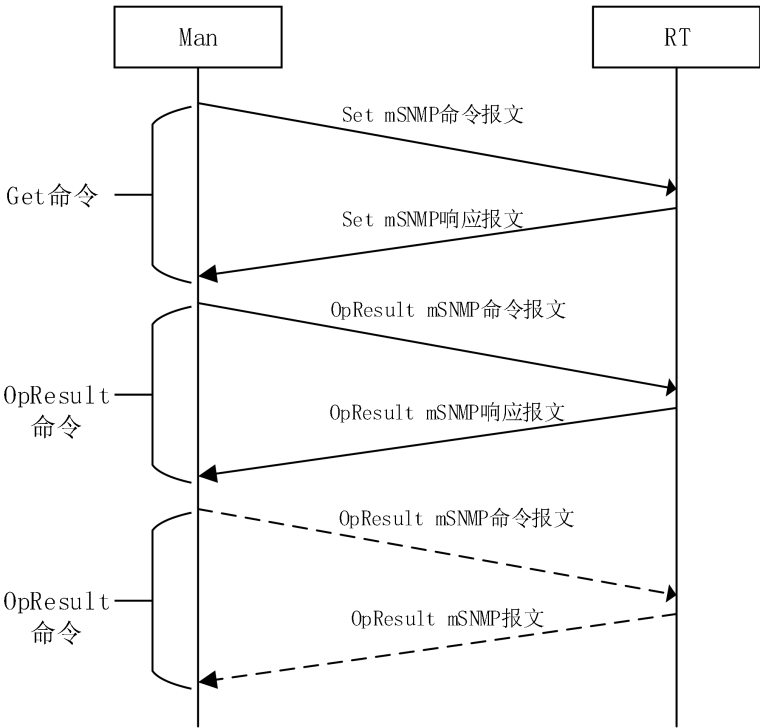


图 42 mSNMP 管理寄存器写过程示意图

寄存器写过程流程如下：

- a) SNMP 管理终端发送 Set Request-mSNMP 命令报文；
- b) RT 终端返回 Set Response-mSNMP 响应报文；
- c) SNMP 管理终端发送 OpResult Request -mSNMP 命令报文；
- d) RT 终端返回 OpResult Response-mSNMP 响应报文。

9.2.2.2 寄存器写 Set 过程

9.2.2.2.1 Set Request 负载要求

Set Request 是在 mSNMP 命令报文的负载中附加 Set Request 请求。

图 43 为 SNMP 管理 Set Request 映射为 mSNMP 消息命令报文的格式,表 30 是 Set Request 负载说明。

字段/位序	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Payload[04:01]	SNMP Request/Response-ID = 100(示例)																SNMP Command Number = 2(示例)															
Payload[08:05]	0x289E																Set Request								SNMP Response Code = 0x0							
Payload[12:09]	Address																															
Payload[16:13]	Data																															
Payload[20:17]	Address																															
Payload[24:21]	Data																															
FCS	Frame Check Sequence																															

图 43 Set Request 负载格式要求

表 30 Set Request 负载说明

序号	字段名称/位置	取值	说明
1	SNMP Requeset/Response-ID	0~65535	用于 SNMP 管理访问的序列号，每个完整的 SNMP 管理命令执行完++
2	SNMP Command Number	0~(MTU-4)/8	单位：命令个数，每个命令占用 8 个字节 负载长度，不超过协议最大负载长度
3	SNMP Command	0b0000	Set Request
4	SNMP Identifier	0x289E	固定值为 0x289E
5	SNMP Response Code	0x0	命令报文固定值为 0x0
6	Address	寄存器偏移量	需要配置写入的寄存器偏移量
7	Data	寄存器数据	需要配置写入的寄存器数据

9.2.2.2.2 Set Response 负载要求

Set Response 是在 mSNMP 响应报文的负载中附加 Set Response 响应负载。

图 44 为 SNMP 管理 Set Response 映射为 mSNMP 消息命令报文的格式,表 31 是 Set Request 负载说明。

字段/位序	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Payload[04:01]	SNMP Request/Response-ID = 100																SNMP Command Number = 0															
Payload[08:05]	0x289E																Set Response								SNMP Response Code							
FCS	Frame Check Sequence																															

图 44 Set Responset 负载格式要求

表 31 Set Response 负载说明

序号	字段名称/位置	取值	说明
1	SNMP Requeset/Response-ID	0~65535	与 Set 命令保持一致
2	SNMP Command Number	0	响应帧命令个数为 0
3	SNMP Command	0b0001	Set Response
4	SNMP Identifier	0x289E	固定值为 0x289E
5	SNMP Response Code	编码值	ROK 或其它响应码

9.2.2.3 寄存器写 OpResult 过程

9.2.2.3.1 OpResult Requeset 负载要求

OpResult Request 是在 mSNMP 命令报文的负载中附加 OpResult Request 请求。

图 45 为 SNMP 管理 OpResult Request 映射为 mSNMP 消息命令报文的格式,表 32 是 OpResult Request 负载说明。

字段/位序	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Payload[04:01]	SNMP Request/Response-ID = 100																SNMP Command Number = 0															
Payload[08:05]	0x289E																OpResult Request								0x0							
FCS	Frame Check Sequence																															

图 45 OpResult Request 负载格式要求

表 32 OpResult Request 负载说明

序号	字段名称/位置	取值	说明
1	SNMP Requeset/Response-ID	0~65535	前序 Set 命令帧的 ID
2	SNMP Command Number	0	Opresult 命令帧个数为 0
3	SNMP Command	0b0100	OpResult Request
4	SNMP Identifier	0x289E	固定值为 0x289E
5	SNMP Response Code	0x0	命令报文固定值为 0x0

9.2.2.3.2 OpResult Response 负载要求

OpResult Response 是在 mSNMP 响应报文的负载中附加 OpResult Response 响应负载。

图 46 为 SNMP 管理 OpResult Response 映射为 mSNMP 消息命令报文的格式,表 33 是 OpResult Response 负载说明。

字段/位序	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Payload[04:01]	SNMP Request/Response-ID = 100(示例)																SNMP Command Number = 2(示例)															
Payload[08:05]	0x289E																OpResult Response								SNMP Response Code							
Payload[12:09]	Address																															
Payload[16:13]	Data																															
Payload[20:17]	Address																															
Payload[24:21]	Data																															
FCS	Frame Check Sequence																															

图 46 OpResult Response 负载格式要求

表 33 OpResult Response 负载说明

序号	字段名称/位置	取值	说明
1	SNMP Requeset/Response-ID	0~65535	OpResult 命令帧的 ID, 与 Set 命令一致
2	SNMP Command Number	0~(MTU-4)/8	前序 Set 命令帧的命令数目
3	SNMP Command	0b0101	OpResult Response
4	SNMP Identifier	0x289E	固定值为 0x289E
5	SNMP Response Code	0x00	ROK 或其他状态
6	Address	寄存器偏移量	配置写入的寄存器偏移量
7	Data	寄存器数据	配置写入的寄存器数据返回

9.2.3 寄存器读

9.2.3.1 寄存器读过程

9.2.3.1.1 寄存器读操作

寄存器读过程支持一个或多组寄存器读同时下发，终端应支持寄存器读访问过程，并返回正确或异常操作的结果。

9.2.3.1.2 寄存器读流程

SNMP 管理寄存器读过程流程如图 47 所示：

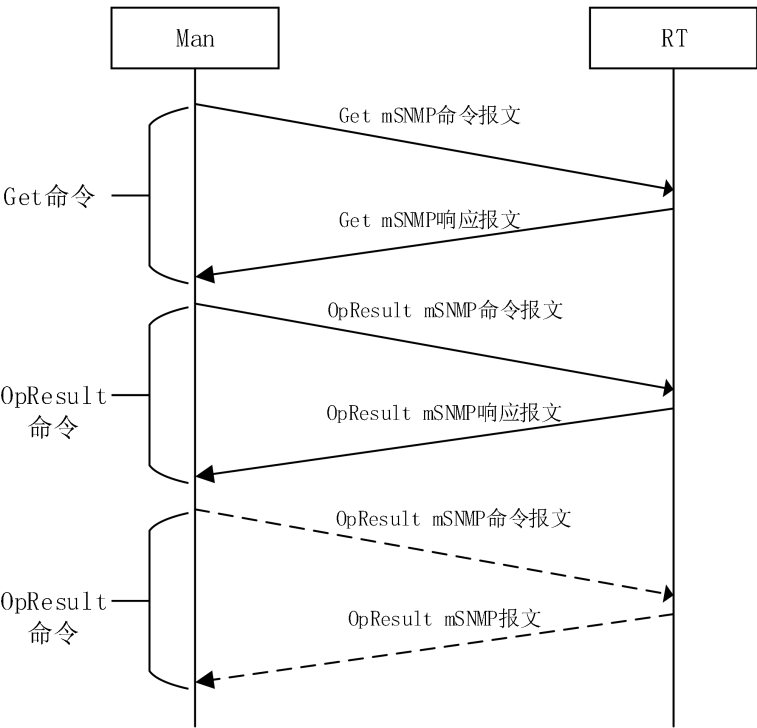


图 47 寄存器读流程示意图

寄存器读过程管理过程如下：

- a) SNMP Manage 发送 Get Request-mSNMP 命令报文；
- a) RT 终端返回 Get Resonse-mSNMP 响应报文；
- b) SNMP Manage 发送 OpResult Request -mSNMP 命令报文；
- c) RT 终端返回 OpResult Response-mSNMP 响应报文。

9.2.3.2 寄存器读 Get 过程

9.2.3.2.1 Get Request 负载要求

Get Request 是在 mSNMP 命令报文的负载中附加 Get Request 请求。

图 48 为 SNMP 管理 Get Request 映射为 mSNMP 消息命令报文的格式, 表 34 是 Get Request 负载说明。

字段/位序	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Payload[04:01]	SNMP Request/Response-ID = 100(示例)																SNMP Command Number = 2(示例)															
Payload[08:05]	0x289E																Get Request								0x0							
Payload[12:09]	Address																															
Payload[16:13]	RSVD																															
Payload[20:17]	Address																															
Payload[24:21]	RSVD																															
FCS	Frame Check Sequence																															

图 48 Get Request 负载格式要求

表 34 Get Request 负载说明

序号	字段名称/位置	取值	说明
1	SNMP Requeset/Response-ID	0~65535	用于 SNMP 管理访问的序列号,每个完整的 SNMP 管理命令执行完++
2	SNMP Command Number	0~(MTU-4)/8	单位: 命令个数, 每个命令占用 8 个字节 负载长度, 不超过协议最大负载长度
3	SNMP Command	0b0010	Get Request
4	SNMP Identifier	0x289E	固定值为 0x289E
5	SNMP Response Code	0x00	命令报文固定值为 0x0
6	Address	寄存器偏移量	需要读取的寄存器偏移量
7	RSVD	保留	保留

9.2.3.2.2 Get Responset 负载要求

Get Response 是在 mSNMP 响应报文的负载中附加 Get Response 响应负载。

图 49 为 SNMP 管理 Get Response 映射为 mSNMP 消息命令报文的格式,表 35 是 Get Request 负载说明。

字段/位序	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Payload[04:01]	SNMP Request/Response-ID = 100 (示例)																SNMP Command Number = 0															
Payload[08:05]	0x289E																Get Response								SNMP Response Code							
FCS	Frame Check Sequence																															

图 49 Get Response 负载格式要求

表 35 Get Response 负载说明

序号	字段名称/位置	取值	说明
1	SNMP Requeset/Response-ID	0~65535	与 Get Requeset 保持一致
2	SNMP Command Number	0	命令个数为 0
3	SNMP Command	0b0000	Get_Response
4	SNMP Identifier	0x289E	固定值为 0x289E
5	SNMP Response Code	0x00	ROK 或其它响应码

9.2.3.3 寄存器读 OpResult 过程

9.2.3.3.1 OpResult Request 负载要求

OpResult Request 是在 mSNMP 命令报文的负载中附加 OpResult Request 请求。

图 50 为 SNMP 管理 OpResult Request 映射为 mSNMP 消息命令报文的格式,表 36 是 OpResult Request 负载说明。

字段/位序	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Payload[04:01]	SNMP Request/Response-ID = 100(示例)																SNMP Command Number = 0															
Payload[08:05]	0x289E																OpResult Request								0x0							
FCS	Frame Check Sequence																															

图 50 OpResult Request 负载格式要求

表 36 OpResult Request 负载格式说明

序号	字段名称/位置	取值	说明
1	SNMP Request/Response-ID	0~65535	与 Get Request 保持一致
2	SNMP Command Number	0~(MTU-4)/8	命令个数为 0
3	SNMP Command	0b0000	OpResult Request
4	SNMP Identifier	0x289E	固定值为 0x289E
5	SNMP Response Code	0x00	命令报文固定值为 0x0

9.2.3.3.2 OpResult Response 负载要求

OpResult Response 是在 mSNMP 响应报文的负载中附加 OpResult Response 响应负载。

图 51 为 SNMP 管理 OpResult Response 映射为 mSNMP 消息命令报文的格式,表 37 是 OpResult Response 负载说明。

字段/位序	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Payload[04:01]	SNMP Request/Response-ID = 100(示例)																SNMP Command Number = 2(示例)															
Payload[08:05]	0x289E																OpResult Response								SNMP Response Code							
Payload[12:09]	Address																															
Payload[16:13]	Read Data																															
Payload[20:17]	Address																															
Payload[24:21]	Read Data																															
FCS	Frame Check Sequence																															

图 51 OpResult Response 负载格式要求

表 37 OpResult Response 负载格式说明

序号	字段名称/位置	取值	说明
1	SNMP Request/Response-ID	0~65535	与 Get Request 保持一致
2	SNMP Command Number	取决于 Get Request	与 Get Request 的命令数目一致
3	SNMP Command	0b0000	OpResult Response
4	SNMP Identifier	0x289E	固定值为 0x289E

表 37 OpResult Response负载格式说明(续)

序号	字段名称/位置	取值	说明
5	SNMP Response Code	0x00	ROK 或其他状态
6	Address	寄存器偏移量	读取的寄存器偏移量
7	Data	寄存器数据	读取的寄存器数据

9.3 数据服务类型

9.3.1 队列端口

9.3.1.1 队列形式

队列端口是应用程序与 100M 数据传输总线之间的接口，其终端到终端的数据队列形式应满足以下要求：

- a) 发送方在消息调度时序明确指定 SRT、DRT 及 SA；
- b) 采用先进先出的队列管理规则对数据进行排序。

Queuing 端口缓冲区如图 52 所示：

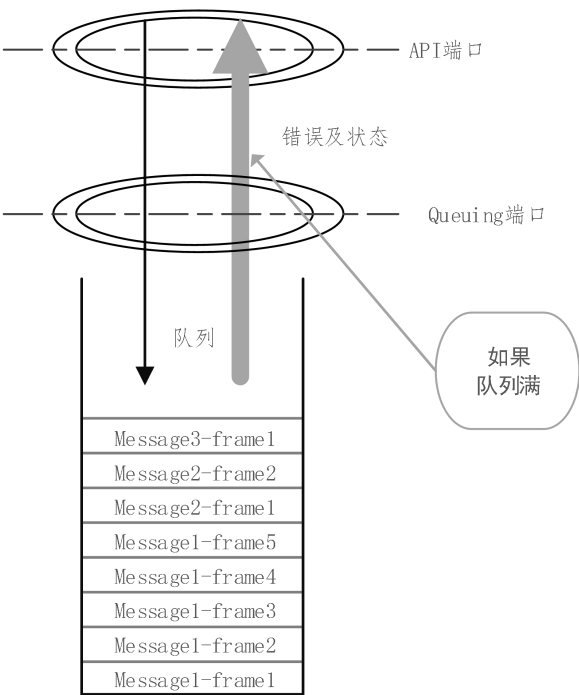


图 52 Queuing 端口发送缓冲区示意图

9.3.1.2 多帧发送机制

发送端应支持数据多帧传输模式，Queuing 端口支持配置以下参数：

- a) 最大帧数：单个多帧消息允许的最大数据帧数量；
- b) 最大单帧负载长度：单帧数据允许携带的最大有效载荷数。

数据封装为多帧消息后发送，发送端应确保多帧消息的完整性与顺序性。

9.3.1.3 多帧接收与组合规则

接收端 SA 端口应执行多帧组合处理，仅当整组多帧消息正确接收完毕后，方可将数据存入接收端口的服务队列。

多帧组合过程中，若检测到帧序列错误或完整性校验失败，应拒绝将数据存入服务队列，并在响应帧的 Head.RC 中返回错误信息。

9.3.1.4 队列溢出

队列发生缓冲区溢出，端口管理机制应：

- a) 向数据源返回错误状态指示；
- b) 丢弃溢出数据帧。

应用软件需确保 SAP 缓冲区容量满足数据写入需求，避免持续性溢出。

9.3.1.5 接收溢出

当接收队列发生溢出时，在响应码(Response Code)字段中标记“SAF”响应码，并丢弃该帧。

9.3.2 采样端口

9.3.2.1 队列形式

采样端口是应用程序与 100M 数据传输总线之间的接口，其终端到终端的数据队列形式应满足以下要求：

- a) 发送方在消息调度时序明确指定 SRT、DRT 及 SA；
- b) 采用循环覆盖规则对数据进行管理。
- c) 不支持多帧序列；
- d) 最大单帧负载长度：单帧数据允许携带的最大有效载荷数。

Sampling 端口缓冲区如图 53 所示：

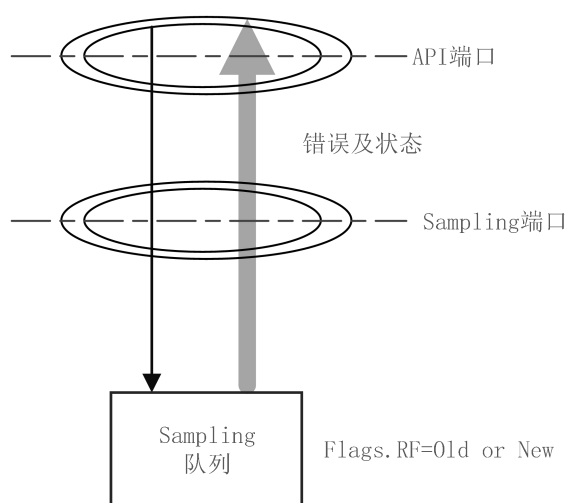


图 53 Sampling 端口缓冲区示意图

9.3.2.2 缓冲区刷新机制

采样(Sampling)端口缓冲区应采用数据覆盖刷新机制，每个端口需配置唯一刷新标记

Sampling. RF；该标记的定义与功能应与标志字段(Flags. RF)完全一致。

9.3.2.3 数据传输与标记引用

缓冲区数据通过消息发送时，消息中的标志字段(Flags. RF)应直接引用端口刷新标记，并随数据同步传输至目的终端 RT。

目的终端 RT 的子地址接收到数据后，应采用数据覆盖方式刷新本地缓冲区，并同步更新接收缓冲区的刷新标记，确保与发送端 Flags. RF 字段一致。

9.3.2.4 缓冲区刷新标志

刷新标记与 Flags. RF 的操作约定

- a) 应用向端口缓冲区写入数据后，队列管理机制应置位 Sampling. RF=1；
- b) 发送消息时，应设置报文 Flags. RF=Sampling. RF，且队列管理机制需将 Sampling. RF 重置为 0；
- c) 接收端 SA 端口缓冲区预设 Sampling. RF=1；
- d) 接收端协议栈接收到消息数据后，应将 Sampling. RF 赋值为 Flags. RF 字段值；
- e) 接收端应用层读取 SA 端口数据后，队列管理机制应将 Sampling. RF 重置为 0。

9.3.3 服务访问点端口

9.3.3.1 队列形式

服务访问点端口支持端到多端通信方式，每个 SAP 子地址可指定不同的目标终端(RT)地址，目标终端地址由数据内容直接确定。缓冲区如图 54 所示。

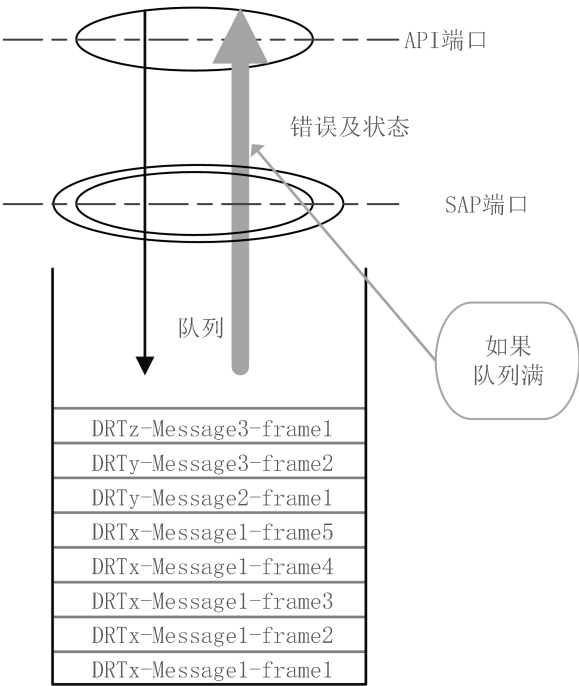


图 54 SAP 缓冲区队列示意图

9.3.3.2 数据路由特性

SAP 端口的队列支持多目标地址并发路由，如同一队列中的消息可分别发往 RTx、RTy、RTz 等不同终端。

9.3.3.3 多帧发送机制

发送端应支持数据多帧传输模式，SAP 端口支持配置以下参数：

- a) 最大帧数：单个多帧消息允许的最大数据帧数量；
- b) 最大单帧负载长度：单帧数据允许携带的最大有效载荷数。

数据封装为多帧消息后发送，发送端应确保多帧消息的完整性与顺序性。

9.3.3.4 队列存储结构

如图 54 《SAP 缓冲区队列》所示：

- a) 队列采用先进先出 (FIFO) 机制存储消息，示例中包含 Msg1 (发往 RTx)、Msg2 (发往 RTy)、Msg3 (发往 RTz)；
- b) 每个消息需携带目标终端地址字段，由端口管理机制解析路由。

9.3.3.5 队列溢出

队列发生缓冲区溢出，端口管理机制应：

- c) 向数据源返回错误状态指示；
- d) 丢弃溢出数据帧。

应用软件需确保 SAP 缓冲区容量满足数据写入需求，避免持续性溢出。

9.3.3.6 接收溢出

当接收队列发生溢出时，在响应码 (Response Code) 字段中标记 “SAF” 响应码，并丢弃该帧。

ICS 49.060
CCSL70

T/CICC

中国指挥控制学会团体标准

T/CICC 45002-2025

多余度同步交换网络 iRAX

Redundant Synchronous Switching Network

2025-06-30 发布

2025-06-30 实施

中国指挥与控制学会 发布

目 次

前 言 IV

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义、缩略语 2

 3.1 术语和定义 2

 3.2 缩略语 5

4 同步交换网络iRAX架构 8

 4.1 网络通信要求 8

 4.2 协议层次要求 8

 4.3 同步交换网络iRAX拓扑结构 9

 4.3.1 基本拓扑结构 9

 4.3.2 双余度拓扑结构 9

 4.3.3 双余度多路径拓扑结构 9

5 物理层 10

 5.1 电缆物理层 10

 5.1.1 接口规范 10

 5.1.2 传输介质规范 10

 5.1.3 传输速率 11

 5.2 光纤物理层 11

 5.2.1 接口规范 11

 5.3 光纤通道编码8B/10B传输码 11

 5.3.1 符号约定 11

 5.3.2 字符编码和译码 11

 5.3.3 传输速率 12

6 数据链路层 12

 6.1 协议架构 12

 6.1.1 通用服务 12

 6.1.2 数据链路层服务体系 12

 6.1.3 协议接口规范 13

 6.2 帧间距与空闲状态 13

 6.2.1 帧间距规范 13

 6.2.2 时间范围规范 13

 6.2.3 配置与应用规则 13

 6.2.4 帧间距数据要求 13

 6.3 帧定界 14

 6.3.1 基于以太网报文定界格式 14

 6.3.2 基于光纤通道报文定界格式 15

 6.4 报文格式要求 16

 6.4.1 报文定义 16

 6.4.2 字段详解 17

6.5 地址识别	22
6.5.1 终端	22
6.5.2 寻址	23
6.5.3 单播	23
6.5.4 组播	23
6.5.5 广播	23
6.6 冗余处理	23
6.6.1 帧复制	23
6.6.2 帧消除	24
6.6.3 帧唯一性	24
6.7 交换过程	25
6.7.1 数据链路层接收	25
6.7.2 交换过程	25
6.7.3 地址自学习	25
6.7.4 交换终端冗余	26
6.7.5 镜像端口	26
6.8 链接过程	27
6.8.1 链路连接	27
6.8.2 链路服务消息	28
7 网络层	28
7.1 命令响应过程	28
7.1.1 基本通信过程	28
7.1.2 多帧通信过程	28
7.1.3 基本重传过程	29
7.1.4 多帧重传过程	30
7.1.5 强制重传过程	32
7.2 基本消息	33
7.2.1 基本消息类型	33
7.2.2 NC-NT消息 (CMD=0x0)	33
7.2.3 NC-NT-B广播消息 (CMD=0x0)	34
7.2.4 NT-NC消息 (CMD=0x1)	34
7.2.5 NT-NT消息 (CMD=0x2/0x12)	34
7.2.6 NT-NT-B广播消息 (CMD=0x2/0x12)	35
7.2.7 NT-NTD消息 (CMD=0x4)	35
7.2.8 NT-NTD-B广播消息CMD=0x4	36
7.3 模式消息	36
7.3.1 模式消息类型	36
7.3.2 mSOH模式消息 (CMD=0xA)	37
7.3.3 mSOL消息 (CMD=0xB)	37
7.3.4 mTS消息 (CMD=0xC)	37
7.3.5 mSNMP消息 (CMD=0xD)	37
7.3.6 mVWQ消息 (CMD=0xE)	38
7.4 链路服务消息	38
7.4.1 链路服务	38
7.4.2 数据负载要求	38
7.4.3 链路服务消息 (0xF)	39

7.4.4 链路服务信息	39
7.5 消息唯一性	39
7.5.1 消息唯一性标识	39
7.5.2 消息去冗余	40
8 传输层	40
8.1 网络调度	40
8.1.1 网络角色	40
8.1.2 网络基本周期	40
8.1.3 网络调度	40
8.1.4 单周期消息与多周期消息	42
8.1.5 消息相位	42
8.1.6 动态带宽管理	43
8.2 网络运行	43
8.2.1 网络基本周期控制与网络高优先级阶段	43
8.2.2 网络低优先级阶段	45
8.2.3 网络保护带	46
8.2.4 矢量字查询 mVWQ	47
9 应用层	49
9.1 时间同步与延迟测量	49
9.1.1 报文格式要求	50
9.1.2 时间同步过程	53
9.1.3 延迟测量过程	54
9.1.4 终端操作流程	55
9.2 网络管理	57
9.2.1 网络管理过程	57
9.2.2 寄存器写	59
9.2.3 寄存器读	62
9.3 数据服务类型	66
9.3.1 队列端口	66
9.3.2 采样端口	67
9.3.3 服务访问点端口	68

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范》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。

本文件由北京中航通用科技有限公司提出。由中国指挥与控制学会归口。

北京中航通用科技有限公司、航空工业成都飞机工业(集团)有限责任公司、北京计算机技术及应用研究所、中国商飞北京民用飞机技术研究中心、武汉数字工程研究所、华北计算技术研究所、哈尔滨工业大学、电子科技大学、北京理工大学、沈阳工业大学、北京旋极信息技术股份有限公司、凯云联创(北京)科技有限公司。

本标准主要起草人：杨水华、赵越、郑云龙、严杰、于峰、涂林艳、石磊、鄢楚平、蒋斌、宋法质、唐樟春、冯恒振、南金瑞、张贺、黎明、赵平、彭时涛、陈策。

多余度同步交换网络 iRAX

1 范围

本文件规定了多余度同步交换网络 iRAX(以下简称同步交换网络 iRAX)电子设备的技术要求,同时规定了多余度同步交换网络的工作原理和网络上的信息流及其采用的电气和功能格式,对网络的物理层、数据链路层、网络层、传输层及应用服务进行规定。

本文件适用于多余度同步交换网络相关装置和系统的设计、开发及应用。

2 规范性引用文件

下列文件中的有关条款通过引用而成为本文件的条款。凡注日期或版次的引用文件,其后的任何修改单(不包含勘误的内容)或修订版本都不适用于本文件,但提倡使用本文件的各方探讨使用其最新版本的可能性。凡不注日期或版次的引用文件,其最新版本适用于本文件。

GB/T 9387(所有部分) 信息技术 开放系统互连基本参考模型

GB/T 15126-2021 《信息处理系统 数据链路层服务定义》

GB/T 16264.3-2019 《信息技术 开放系统互连 网络服务定义》

GB/T 16681-2022 《信息技术 开放系统互连 数据链路层服务定义》

GB/T 17173.1-1997 《信息技术 开放系统互连 网络层安全协议》

GB/T 17176.3-1997 《信息技术 开放系统互连 数据链路层帧和差错控制》

GB/T 18015.5-2017 《数字通信用对绞/星绞多芯对称电缆》

GB/T 20540-2006 《信息技术 系统间远程通信和信息交换 高速以太网层协议规范》

GB/T 21645-2008 《信息技术 系统间远程通信和信息交换 以太网物理层和数据链路层规范》

GB/T 20830-2006 《信息技术 系统间远程通信和信息交换 局域网和城域网 特殊要求 第 30 部分: 宽带无线接入系统的媒体接入控制(MAC)和物理层(PHY)规范》

GB/T 30271-2013 《数字通信系统校验技术规范》

GB/T 30276-2013 《数字通信系统 优先级调度技术要求》

GJB 151B-2013 《军用设备和分系统 电磁发射和敏感度要求与测量》

GJB 289A-1997 数字式时分制指令/响应型多路传输数据网络

GJB 599B-2012 《耐环境快速分离高密度小圆形电连接器规范》

GJB 1427A-1999 《光纤总规范》

GJB 6410.1-2008 光纤通道 物理和信号接口 第 1 部分: FC-PH

GJB 6410.2-2008 光纤通道 物理和信号接口 第 2 部分: FC-PH-2

GJB 6410.3-2008 光纤通道 物理和信号接口 第 3 部分: FC-PH-3

IEEE 802.3-2022 《IEEE Standard for Ethernet – Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection (CSMA/CD) Access Method and Physical Layer Specifications》 《以太网标准: 带碰撞检测的载波侦听多址访问 (CSMA/CD) 访问方法及物理层规范》

ISO/IEC8802-3 信息技术 系统间通信和信息交换 局域网和城域网 特殊要求 第3 部分:带碰撞检测的载波侦听多址访问 (CSMA/CD)的访问方法和物理层规范(Information technology-Telecommunications and information exchange between systems — Local and metropolitan area networks — Specific requirements — Part3 : Carrier sense multiple access with collision detection (CSMA /CD) access method and physical layer specifications)

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

冗余度同步交换网络 iRAX (Redundant Synchronous Switching Network iRAX)

指具备路径与设备冗余机制的同步交换网络，通过命令/响应式通信机制保障数据可靠传输。网络协议支持时间同步调度，由网络控制器将传输时间划分为基本时间片，并在时间片内实现高/低双优先级流量管理。

3.1.2

终端 Terminal

终端是使数据网络与子系统相接口的电子组件。

注：在网络系统中它可以是网络控制器、网络终端或网络监视器。终端既可以是独立存在外场可更换组件，也可包含在子系统中。

3.1.3

网络控制器 Network Controller (NC)

是网络系统中控制管理网络周期、确定网络优先级的终端。

3.1.4

备份网络控制器 Backup Network Controller (BNC)

是网络系统中网络控制器的备份终端。

3.1.5

网络终端 Network Terminal (NT)

是网络系统与应用之间提供应用数据服务、与网络设备连接并响应网络通行命令的终端。

3.1.6

网络接入单元 Network Interface Unit

是其它通信终端与同步交换网络之间的协议通信的终端。

3.1.7

网络管理终端 Network Manage Terminal (Man)

通过同步交换网络 iRAX SNMP 管理协议进行网络管理的终端。

3.1.8

网络监视终端 Netword Monitor Terminal (NM)

通过物理连接到终端端口，并对物理层报文进行采集、还原、监视的终端。

3.1.9

余度网络 Redundant Network

使用一路以上的数据网络，从而在子系统间提供一路以上的数据传送通路。

[来源：GJB 289A-1997, 3.20]

3.1.10

周期 Cycle

重复并连续执行一系列命令或动作的时间间隔。

[来源：GB/T 20830, 3.1.2.5]。

3.1.11

消息 Message

包括一个命令帧、一个响应帧(或多帧中的多个命令帧、多个响应帧)组成的传输序列。

3.1.12

全双工 Full Duplex

网络终端在网络上的操作，通信双方在同一时间内可以同时进行双向的数据传输。

3.1.13

命令响应 Command/Response

网络系统的操作方式，网络控制器发出命令时，网络终端才作出响应。即接收或发送规定字数的数据或完成预先定义的某种特点操作。

[来源：GJB 289A-1997, 3.8]

3.1.14

数据帧 Data Frame

数据链路层中传输的基本数据单元，具有固定的字段结构，包含数据传输所需的定界信息、有效载荷及校验字段。

3.1.15

最大传输单元 Maximum Transmission Unit (MTU)

指网络中数据链路层允许传输的最大数据包大小（以字节为单位）。它决定了一次网络传输中所能承载的最大数据量，是网络通信中的关键参数。

3.1.16

网络调度 Network Schedule

管理网络设备终端对网络的访问权，决定终端使用网络的顺序和时间的方法。

3.1.17

调度表 Schedule Table

用于描述同步交换网络 iRAX 中数据传输顺序和时间的机制。

3.1.18

寄存器

存储网络配置参数、运行状态的存储单元。寄存器值可由软件写入、读取或由网络进行更新。

3.1.19

网络交换单元 Netwrok Switching Unit

星型拓扑结构中的中心终端设备，用于连接网络控制器(NC)和网络终端(NT)，实现数据交换功能。

3.1.20

双余度拓扑

每个网络终端通过两条独立物理路径接入交换单元的拓扑结构，通过帧复制与去冗余机制保障数据可靠性。

3.1.21

双余度多路径拓扑

通过交换单元级联与路径冗余设计构建的多层级冗余传输架构，支持数据多路径转发与故障切换。

3.1.22

帧间距 Inter Frame Gap

相邻数据帧之间的最小时间间隔，单位为纳秒(ns)，用于确保接收端完成帧解析与缓冲处理。

3.1.23

前导码 Preamble

数据帧起始的固定字节序列(0b10101010)，用于接收端与发送端的时钟相位同步。

3.1.24

帧起始界定符 Start Frame Delimer

紧跟前导码后的固定字节，用于标识数据帧有效载荷的起始边界。

3.1.25

帧校验序列 Frame Check Sequence

基于 CRC-32 算法的 32 位校验码，用于保障报文传输完整性，覆盖首部与有效载荷。

3.1.26

帧唯一标识 Unique Frame Indicator

由命令序号、源地址、响应标识等字段组成的 46 位序列，用于识别冗余帧并执行去重处理。

3.1.27**矢量字 Vector Word**

通过比特映射标识网络终端(NT)子地址(SA)缓冲区数据状态的二进制序列，1 表示有数据待发送，0 表示无数据。

3.1.28**网络周期保护带 Network Cycle Protection Zone**

当前网络周期结束前预留的静默时间窗口，确保下一周期起始消息(mSOH)准时广播，避免时序混乱。

3.1.29**动态带宽管理 Dynamic Bandwidth Management**

通过矢量字查询(mVWQ)与周期低优先级(PL)调度循环机制，实现网络剩余带宽的动态分配。

3.1.30**时间同步主设备 TimeSync Master**

在主从式时间同步机制中，负责发起时间同步消息(mTS)并校准从设备时钟的网络终端(如 NC)

3.1.31**延迟测量识别码 Delay Measurement Identifier**

固定值 0x289E0059，用于标识延迟测量报文，确保报文在传输路径中被正确解析与处理。

3.1.32**队列服务 Queuing Server**

采用先进先出(FIFO)规则管理数据队列的应用接口，支持多帧传输与缓冲区溢出处理。

3.1.33**采样服务 Sampling Server**

采用循环覆盖规则管理数据的应用接口，通过刷新标记(RF)标识数据更新状态。

3.2 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

CMD	命令类型(Command)
CSeq	命令序号(Command Sequence)
DIFF	差值(Difference)
DNT	目的终端地址(Destination NT Address)
EM	空消息(Empty Message)
EOF	帧结束(End of Frame)
FCS	帧校验序列(Frame Check Sequence)

FIDX	帧索引 (Frame Index)
Fixed	固定服务 (Fixed SA Server)
FR	强制重传 (Force Retry)
IFG	帧间距 (Inter Frame Gap)
mSOH	周期高优先级起始消息 (Start of High Priority Message)
mSOL	周期低优先级起始消息 (Start of Low Priority Message)
mLS	链路层服务消息 (Link Server Message)
MF	多帧标志 (More Frame)
MFT	多帧超时 (More Frame Timeout)
MRF	消息重传失败 (Message Retry Failed)
mSNMP	网络管理模式消息 (Mode Simple Network Management Protoc
mTS	时间同步模式消息 (Mode Time Synchronization Message)
mVWQ	矢量字查询模式消息 (Mode Vector Word Query Message)
NAE	未定义的错误 (NA Error)
NPH	非周期高优先级 (Non-Period High Priority)
NPL	非周期低优先级 (Non-Period Low Priority)
NR	免响应 (No Response)
NRE	无响应错误 (No Response Error)
NSW	网络交换单元 (Network Switching Unit)
PH	周期高优先级 (Period High Priority)
PLen	负载长度 (Payload Length)
PL	周期低优先级 (Period Low Priority)
Pri	优先级 (Priority)
Pv	私密 (Private)
Queuing	队列服务 (Queuing Server)
RC	响应码 (Response Code)
RF	数据更新 (Refresh)
RI	响应标识 (Response Indicator)
ROK	响应正确 (Response OK)
RSVD	保留 (Reserved)
NTD	网络终端直接发起的消息 (NT-NT Direct Message)
RTT	往返时间 (Round Trip Time)
NT-NC	网络终端向网络控制器的消息 (NT-NC Message)
NTE	NT 错误 (NT Error)
NT-NT	网络终端向网络终端的消息 (NT-NT Message)
SA	子地址 (Sub Address)
SAE	SA 空 (SA Empty)
SAF	SA 满 (SA Full)
Sampling	采样服务 (Sampling Server)

SAP	服务访问点 (Server Access Point)
SAST	子地址服务类型 (SAST)
SFD	帧起始界定符 (Start Frame Delimiter)
SOF	帧起始 (Start of Frame)
SRE	SA 接收错误 (SA Receive Error)
SNT	源端地址 (Source NT Address)
STE	SA 发送错误 (SA Transmit Error)
STE	SA 类型错误 (STE)
UFID	帧唯一标识 (Unique Frame Indicator)
UMID	消息唯一标识 (Unique Message Indicator)
Ver	版本 (Version)

4 同步交换网络 iRAX 架构

4.1 网络通信要求

- a) 同步交换网络 iRAX 系统的优先级及周期控制控制权由网络控制器负责；
- b) 同步交换网络 iRAX 系统采用命令/响应型的异步操作模式；
- c) 同步交换网络 iRAX 的信息传输采用半双工与全双工结合的时间分区运行方式；
- d) 同步交换网络 iRAX 的信息流由消息组成。

4.2 协议层次要求

多余度同步交换网络遵循 GB/T 9387(所有部分)的原理、方法论及模型，对同步交换网络 iRAX 协议类型进行描述。OSI 模型采用分层方法定义通信标准，以便各层可独立开发与修改。同步交换网络 iRAX 完整实现 OSI 模型的物理层、数据链路层、网络层及传输层(第 1~4 层)功能；同时，为简化用户操作，其应用层提供网络管理、时间同步等公用特性。

表 1 列出了 OSI 参考模型各层的功能，及其在同步交换网络 iRAX 参考模型(见图 1)中的对应层次同步交换网络 iRAX 协议层次

表 1 OSI 参考模型

协议层次	功能
物理层	对网络拓扑、载波信号、基带信号、编码等的定义
数据链路层	报文定界、数据帧定义、校验、数据帧、冗余处理、交换的定义
网络层	命令响应式、消息类型、
传输层	对网络传输调度的规定
应用层	应用端口服务、网络管理服务、时间同步服务

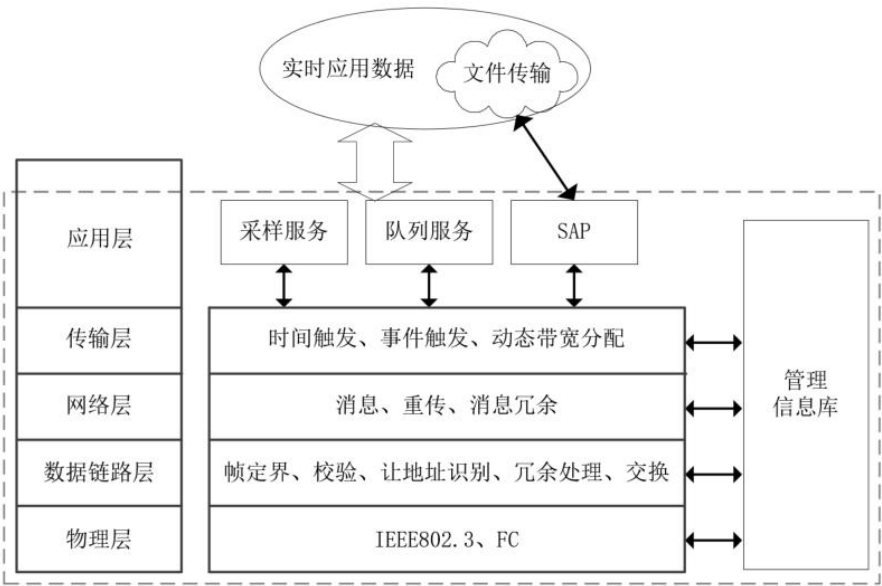


图 1 同步交换网络 iRAX 参考模型

4.3 同步交换网络iRAX拓扑结构

4.3.1 基本拓扑结构

同步交换网络采用星型拓扑结构，以网络交换单元(NSW)作为中心终端，各终端设备(包括网络控制器 NC 和网络终端 NT)通过独立链路与 NSW 直接连接。该拓扑结构中，NC 作为网络控制核心，通过 NSW 实现与 NT 的通信交互，形成以 NSW 为中心的放射状连接架构，确保数据传输的高效性与可靠性。

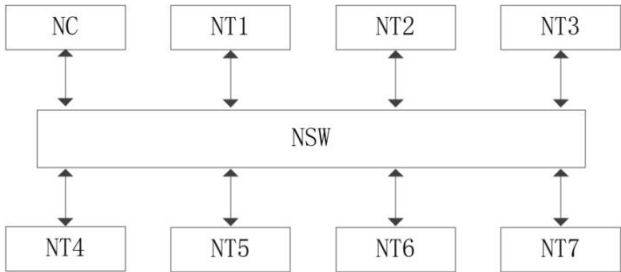


图 2 基本拓扑结构示意图

同步交换网络是星型拓扑，中心终端为有源交换设备，终端设备通过独立链路与 NSW 直连。

4.3.2 双余度拓扑结构

同步交换网络的典型双余度拓扑结构如图 3 所示。该结构中，每个终端通过两条独立的物理路径分别接入交换单元 NSW-A 和 NSW-B；发送端需同时向两个交换单元传输数据帧，接收端通过数据链路层 的去冗余模块对 NSW-A 和 NSW-B 传输的冗余帧进行处理，确保数据的唯一性与可靠性。

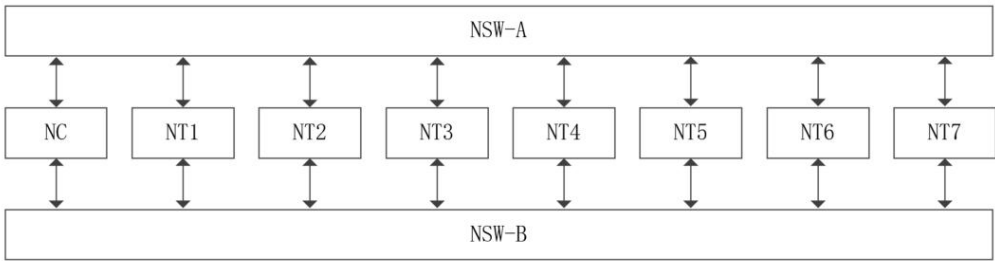


图 3 双余度拓扑结构示意图

双余度拓扑的核心特性包括：

- a) 物理路径冗余：每个终端具备两条独立链路，形成硬件级冗余备份，提升网络容错能力。
- b) 同步数据传输：发送端通过双链路并行发送相同数据帧，确保冗余路径数据的实时一致性。
- c) 去冗余机制：接收端基于帧唯一标识(UFID)对双路径数据进行筛选，丢弃重复帧，保留有效数据。

4.3.3 双余度多路径拓扑结构

4.3.3.1 拓扑图

同步交换网络的双余度多路径拓扑结构如图 4 所示。该拓扑通过交换单元级联与路径冗余设计，构建多层次冗余传输通道。

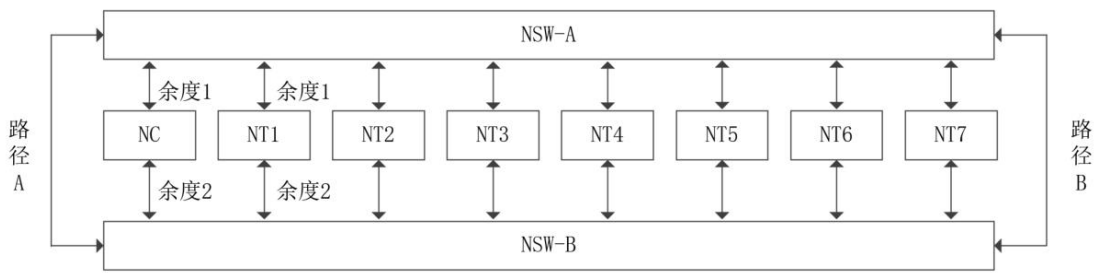


图 4 双余度多路径拓扑结构示意图

4.3.3.2 拓扑架构特性

交换单元级联：交换终端 NSW-A 与 NSW-B 通过路径 A 和路径 B 实现级联，形成双余度传输网络，支持数据的多路径转发。

冗余路径传输：网络控制器 NC 发送的数据通过余度 1 和余度 2 分别传输至 NSW-A 和 NSW-B，终端终端(如 NT1、NT2)通过双余度接口接收冗余数据帧。

4.3.3.3 通信机制与容错要求

4.3.3.3.1 路径冗余与故障切换

当 NT1 的余度 A(或 B)故障时，NSW-A 的数据可通过路径 A、路径 B 转发至余度 2，确保数据不丢失；当 NT2 的余度 A(或 B)故障时，NSW-B 的数据可通过路径 A、路径 B 转发至余度 2，实现故障容错。

4.3.3.3.2 冗余处理一致性

NSW-A 与 NSW-B 需具备余度处理能力，采用与终端数据链路层一致的冗余处理算法(基于帧唯一标识 UFID 的去冗余机制)，避免重复帧传输。

5 物理层

5.1 电缆物理层

5.1.1 接口规范

5.1.1.1 通用接口

通用接口采用符合 IEEE 802.3-2015 《以太网标准：带碰撞检测的载波侦听多址访问(CSMA/CD)访问方法及物理层规范》中 Clause 24(100BASE-TX)至 Clause 28(1000BASE-T)要求的 RJ-45 连接器，支持 100Mbps 至 1000Mbps 以太网物理层标准，满足非屏蔽/屏蔽双绞线的电气连接需求。

5.1.1.2 军用特殊接口

军用特殊接口应选用符合 GJB 599B-2012 《耐环境快速分离高密度小圆形电连接器规范》要求的电连接器，具备耐环境(如振动、冲击、高低温等)与快速分离特性，适用于军用设备的高可靠性连接需求，确保在复杂电磁环境与恶劣工况下的稳定通信。

5.1.2 传输介质规范

传输介质采用符合 GB/T 18015.5-2017 《数字通信用对绞/星绞多芯对称电缆》要求的非屏蔽双绞线(UTP)或屏蔽双绞线(STP)，支持 100Mbps 至 1000Mbps 以太网传输速率，满足同步交换网络 iRAX 对信

号传输稳定性、抗干扰性的要求。

5.1.3 传输速率

传输速率遵循 IEEE Std 802.3《以太网标准：带碰撞检测的载波侦听多址访问 (CSMA/CD) 访问方法及物理层规范》第 34 章千兆以太网 (1000Mb/s) 基带网络标准，同步交换网络 iRAX 完全兼容千兆位以太网物理层规范，支持 1000BASE-T 等传输模式，确保高速数据传输的实时性与可靠性。

5.2 光纤物理层

5.2.1 接口规范

5.2.1.1 接口

光纤物理层接口应符合 GJB 6410-2008《光纤通道 物理和信号接口》系列标准 (包括 GJB 6410.1、GJB 6410.2、GJB 6410.3) 的详细规范要求，支持光纤通道的物理连接与信号传输，满足同步交换网络 iRAX 对高速数据传输的接口兼容性与可靠性需求。

5.2.1.2 传输介质

传输介质采用符合 GJB 1427A-1999《光纤总规范》及相关详细规范的光纤，应满足以下要求：

- a) 涂覆要求：光纤应采用高强度涂覆材料，确保抗拉强度达到标准规定值，涂覆层与缓冲层材料需具备可机械去除性，便于现场端接与维护。
- b) 物理性能：光纤及涂覆层在规定温度范围内应保持稳定的物理性能 (如折射率、损耗特性)，符合军用环境下的耐高低温、抗振动等要求。

5.3 光纤通道编码 8B/10B 传输码

5.3.1 符号约定

光纤通道传输的信息需将 8 位代码组转换为 10 位传输字符 (符合 GJB 6410-2-2008《光纤通道 物理和信号接口第 2 部分：FC-PH-2》11.1 节位定义要求)，以串行方式发送。10 位传输码支持全部 256 个 8 位组合，其中非数据信息传输字符称为专用字符，用于帧定界、链路控制等功能。

关键技术要点：

- a) 字符转换规则：8 位数据字符 (D) 与专用字符 (K) 按 GJB 6410-2-2008 11.2.2.1 定义进行 10 位编码，确保直流平衡与时钟恢复。
- b) 位定义规范：10 位字符的位顺序、极性标识等遵循 GJB 6410-2-2008 标准，保证不同设备间的解码一致性。

5.3.2 字符编码和译码

5.3.2.1 传输顺序

8B/10B 编码的传输顺序应遵循 GJB 6410-2-2008《光纤通道 物理和信号接口 第 2 部分：FC-PH-2》11.2.1 节的规定，编码传输规则具体要求如下：

- a) 位序与字节序：10 位传输字符按位串行发送，每个字节的比特位从低位 (比特 0) 到高位 (比特 7) 依次传输，字节按从左至右顺序发送。
- b) 数据字符 (D) 与专用字符 (K)：有效数据字符 (D) 和专用控制字符 (K) 的编码定义遵循 GJB 6410-2-2008 11.2.2.1 节，其中专用字符用于帧定界、链路初始化等控制功能。
- c) 直流平衡特性：10 位编码通过比特位组合控制码流的直流平衡，确保信号传输的稳定性与时

钟恢复精度。

5.3.2.2 有序集

表 2 定义了同步交换网络 iRAX 的有序集(由专用字符和数据字符组成)。下列有序集类型在第 6 章中定义与使用。

表 2 帧定界符

原语信号	RD 初始值	有序集(从左至右)				功能描述
SOF	负	K28.5	D21.5	D22.2	D22.2	标识数据帧开始, 用于接收端帧同步
EOF	负	K28.5	D21.4	D21.6	D21.6	标识数据帧结束, 用于帧定界

表 3 原语信号

原语信号	RD 初始值	有序集(从左至右)				功能描述
IDLE	负	K28.5	D21.4	D21.5	D21.5	链路空闲时发送的维持信号, 确保时钟同步

5.3.3 传输速率

5.3.3.1 标准速率系列

同步交换网络 iRAX 光纤通道支持以下传输速率, 满足不同应用场景的高速数据传输需求:

1. 0.625Gbps、2. 125Gbps、4. 25Gbps、8. 25Gbps: 遵循光纤通道(FC)标准速率体系, 支持 FC-1、FC-2、FC-3、FC-4 层协议, 适用于航空航天等对实时性要求高的场景。

1. 25Gbps、2. 5Gbps、5Gbps、10Gbps: 兼容以太网(Ethernet)速率标准, 支持 1000BASE-SX/LX、10GBASE-SR/LR 等传输模式, 满足工业控制、数据中心等场景的带宽需求。

5.3.3.2 速率适配与兼容性

光纤通道物理层可根据链路距离、介质类型(多模/单模光纤)自动协商或手动配置传输速率, 确保信号质量与传输距离的平衡(如多模光纤在 10Gbps 下传输距离通常≤300 米, 单模光纤可延伸至 10 公里以上)。

速率切换时需保持 8B/10B 编码规则的一致性, 通过有序集(如 IDLE)维持链路同步, 避免数据传输中断。

6 数据链路层

6.1 协议架构

6.1.1 通用服务

同步交换网络 iRAX 数据链路层遵循 OSI 参考模型设计, 为物理层与网络层提供标准化服务接口, 核心功能包括帧定界、帧校验、地址识别、数据对齐及冗余管理。该层采用交换式星型拓扑架构。

6.1.2 数据链路层服务体系

6.1.2.1 基础服务功能

基础服务功能如下:

- a) 帧定界与校验：定义数据帧的起始/结束标识及 CRC 校验规则，确保数据传输的完整性。
- b) 地址识别与解析：支持 16 位终端地址(单播/组播/广播)的识别与匹配，实现精准数据路由。
- c) 冗余处理机制：基于帧唯一标识(UFID)实现冗余帧消除，保障数据唯一性(详见 6.6 节)。

6.1.2.2 交换式拓扑特性

采用星型拓扑结构，以网络交换单元(NSW)为中心终端，终端设备通过独立链路连接，支持全双工通信与动态带宽分配。

6.1.3 协议接口规范

向下接口(物理层)：适配电缆/光纤物理层传输特性，支持 8B/10B 编码、帧间距控制等底层协议(详见第 5 章)。

向上接口(网络层)：提供标准化数据帧传输接口，支持命令/响应机制、多帧传输及优先级调度(详见第 7 章)。

6.2 帧间距与空闲状态

6.2.1 帧间距规范

帧间距(Inter Frame Gap, IFG)指相邻数据帧之间的最小时间间隔，单位为纳秒(ns)，其定义与流程如图 5 所示。

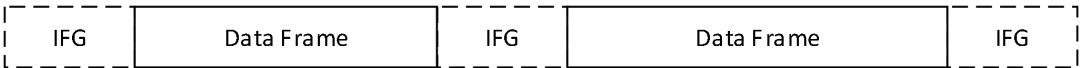


图 5 帧间距

6.2.2 时间范围规范

IFG 时间长度等效为 1~12 字节的传输时间(8~96 位时)，在 1Gbps 线速率下，1 位时为 1ns，对应 IFG 范围为 8ns、16ns、24ns、32ns、40ns、48ns、56ns、64ns、72ns、80ns、88ns、96ns(每间隔 8ns 为一档)。

6.2.3 配置与应用规则

- a) 线速率适配：IFG 时间需与物理层传输速率匹配，例如 100Mbps 速率下 1 位时为 10ns，IFG 范围对应调整为 80ns~960ns。
- b) 强制间隔要求：任意两数据帧之间必须满足 IFG 间隔时间，以确保接收端完成帧解析与缓冲处理。

6.2.4 帧间距数据要求

6.2.4.1 基于以太网物理层

6.2.4.1.1 空闲状态

基于以太网物理层的帧间距期间，数据链路层应保持电气空闲状态。数据链路层在 IFG 间隔内不发送任何有效数据帧或控制信号，确保接收端时钟同步与帧边界识别。

6.2.4.2 信号电平要求

遵循 IEEE 802.3-2015《以太网标准》Clause 22 对非编码空闲信号的定义，保持物理层信号电平

稳定，避免产生误码。

6.2.4.2.1 时间一致性

IFG 时间需严格匹配物理层传输速率(如 1Gbps 速率下 IFG 为 8~96ns)，通过 MAC 层控制机制确保帧间距符合 6.2.1 节规定的时间范围。

6.2.4.3 基于光纤物理层

在 IFG 期间，光纤物理层需完成有序集填充：

发送 IDLE 原语填充帧间距，维持链路活跃状态，间隔时间需符合 6.2.1 节规定的 8ns~96ns 范围(1Gbps 速率下)。

6.3 帧定界

6.3.1 基于以太网报文定界格式

6.3.1.1 定界格式

以太网物理层报文定界如图 6 所示：

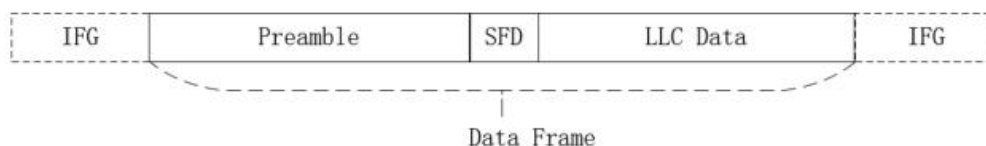


图 6 以太网链路层帧定界

6.3.1.2 字节序

传输遵循从左至右的字节顺序，每个字节按排列顺序依次发送，确保接收端与发送端的字节流时序一致。

6.3.1.3 位序

每个字节的 8 个比特位按从左至右顺序传输，具体规则如下：

- 传输起点为最低有效位(比特 0)，依次向最高有效位(比特 7)递进；
- 完成一个字节的 8 位传输后，立即开始下一个字节的比特 0 传输，确保位流连续性。

6.3.1.4 前导码(Preamble)

6.3.1.4.1 技术规范

- 长度范围：2~12 字节(可配置)，符合 IEEE 802.3-2018《以太网标准》Clause3 规定；
- 字节序列：固定为 0b10101010(二进制)，每个字节呈现 1 和 0 交替的方波信号；
- 功能定位：用于接收端与发送端的时钟相位同步，消除链路传输导致的时钟偏移。

6.3.1.4.2 配置要求

发送方需按协议预设值发送前导码，推荐配置为 7 字节(典型以太网场景)，超长帧传输时可扩展至 12 字节。

6.3.1.5 帧起始界定符 SFD

6.3.1.5.1 定义与位置

字节值：固定为 0b10101011 (二进制)，对应十六进制 0xAB。
传输位置：紧接在前导码(Preamble)之后，作为数据帧有效载荷的起始标识。

6.3.1.5.2 功能作用

SFD 用于触发接收端的帧同步机制，确保数据链路层准确识别帧起始边界，符合 IEEE 802.3-2018 Clause 3.2.1 规范。

6.3.1.6 数据链路层数据(LLC Data)

6.3.1.6.1 数据长度规范

- a) 有效载荷范围：0~3948 字节，支持可变长传输；
- b) 最大传输单元 MTU=3948 字节；
- c) 对齐要求：需按 4 字节边界对齐，具体规则如下：
 - 1) 当用户数据长度 mod 4 $\neq$ 0 时，数据链路层自动填充 (4 - (长度 mod 4)) 个 0 字节；
 - 2) 填充字节位于用户数据之后、帧校验序列(FCS)之前。

6.3.1.6.2 负载类型

用于承载用户业务数据或协议定制数据。支持时间同步、网络管理等上层协议的透明传输。

6.3.2 基于光纤通道报文定界格式

6.3.2.1 定界格式

光纤通道物理层报文定界遵循 GJB 6410-2-2008《光纤通道 物理和信号接口 第 2 部分：FC-PH-2》规范，定界格式如图 7 所示，通过帧起始(SOF)和帧结束(EOF)有序集实现帧边界标识。

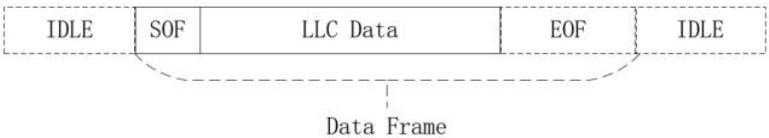


图 7 光纤通道报文定界格式

6.3.2.2 字节序

报文传输遵循从左至右的字节顺序，每个字节按排列顺序依次发送，确保接收端与发送端的字节流时序一致，符合光纤通道协议的传输时序要求。

6.3.2.3 位序

- 每个字节的 8 个比特位按从左至右顺序传输，规则如下：
- a) 传输起点为最低有效位(比特 0)，依次向最高有效位(比特 7)递进；
 - b) 完成一个字节的 8 位传输后，立即开始下一个字节的比特 0 传输，保证位流连续性。

6.3.2.4 帧起始(SOF)

6.3.2.4.1 技术定义

有序集组成：4 字节有序集，字符组成为 K28.5、D21.5、D22.2、D22.2 (16 进制为 0xBC、0xAD、0xCC、

0xCC);

功能定位：标识数据帧起始，触发接收端帧同步机制，符合 GJB 6410-2-2008 11.2.3 节规范。

6.3.2.4.2 传输特性

SOF 有序集的 10 位编码需满足直流平衡要求，通过比特位组合控制码流基线漂移，确保高速传输时的时钟恢复精度。

6.3.2.5 帧结束 (EOF)

6.3.2.5.1 技术定义

有序集组成：4 字节有序集，字符组成为 K28.5、D21.4、D21.6、D21.6 (16 进制为 0xBC、0xAC、0xAB、0xAB)；

功能定位：标识数据帧结束，通过字符极性翻转与 SOF 形成唯一边界标识，防止帧解析歧义。

6.3.2.5.2 检测机制

接收端需在接收到 SOF 后 32 位时内检测到 EOF，判定为非法帧。

6.4 报文格式要求

6.4.1 报文定义

6.4.1.1 报文字段位置

同步交换网络 iRAX 遵循 GB/T 16681-2008《信息技术 开放系统互连 数据链路层服务定义》分层架构，数据链路层、网络层、传输层采用统一报文格式，实现跨层协议适配，通用报文格式如图 8 所示。

字段/位序	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Head	Proto								Version				Pv	Priority			Command Sequence												Retry			
	Source NT												RI		SAST		Command				Frame Index											
	Destination NT												SA																			
	Payload Length												Flags						Response Code													
Payload[MTU:1]	Payload																															
FCS	Frame Check Sequence																															

图 8 通用报文格式

6.4.1.2 报文结构规范

报文由 Head(首部)、Payload(数据负载)、FCS(帧校验序列)组成。

6.4.1.3 跨层适配要求

- 统一首部设计：Head 字段兼容数据链路层帧定界 (6.3 节) 与网络层交换需求，避免跨层报文重组；
- a) 长度约束：Payload 最大长度 3948 字节，符合 GB/T 16681-2008 “可变长服务数据单元” 规范；
 - b) 校验覆盖：FCS 覆盖 Head+Payload，确保传输完整性 (GB/T 17176.3-1997 5.2.4 节)。

6.4.1.4 报文首部字段说明

同步交换网络 iRAX 报文首部字段如表 4 定义：

表 4 报文字段说明

序号	字段名	缩略语	位宽	功能说明	描述
1	Proto		8	协议类型(标识同步交换网络 iRAX 协议, 符合 GB/T 16681-2008 5.2)	固定为 0x59
2	Version	Ver	4	协议版本(标识协议版本号, 用于兼容性适配)	版本为 1
3	Private	Pv	1	私密控制(用于交换机洪泛等特殊功能触发)	交换机洪泛场景启用
4	Priority	Pri	3	通信优先级(GB/T 30271-2013 优先级分级规范)	7 为最高优先级, 0 为最低优先级
5	Command Sequence	CSeq	14	命令序号(用于命令帧唯一性标识与重传校验)	从 1 开始, 下一个命令帧+1, 回卷后重置为 1
6	Retry	Retry	2	重传标记(记录重传次数, 用于重传机制控制)	每重传一次+1, 最多重传 3 次
7	Source NT	SNT	16	源终端地址(标识发送报文的终端, 支持地址空间定义)	发送报文的终端地址
8	Response Indicator	RI	1	响应标识(区分命令帧与响应帧)	0 标识命令帧, 1 标识响应帧
9	Command	CMD	5	命令类型(区分不同消息类型, 实现命令/响应逻辑)	区分不同的消息类型
10	Sub Address Server Type	SAST	2	子地址服务类型(定义 SA 端口对应的数据服务类型)	SA 端口的数据服务类型
11	Frame Index	FIDX	8	帧索引(用于多帧消息的分片重组标识)	一个消息中多数据帧的索引序号
12	Destination NT	DNT	16	目的终端地址(标识报文接收终端, 支持单播/组播)	报文的目的终端地址
13	Sub Address	SA	16	数据端口(指向终端内子地址/子系统, 实现精细路由)	-
14	Payload Length	PLen	16	负载长度(标识有效载荷字节数, 不含填充字节)	单位为字节, 长度 0~3948, 不包含 PAD 字节
15	Flags		8	组合标志(承载免响应、强制重传等控制位)	-
16	Response Code	RC	8	响应码(反馈命令执行结果, 0x00 为成功, 0x8x 为错误)	-
17	Payload	PL	变长 (对齐到 4 字节)	承载用户数据或协议负载(需 4 字节对齐, 不足补 0)	对齐到 4 字节, 不足部分补 0
18	Frame Check Sequence	FCS	32	帧校验序列(保障报文传输完整性, 采用 CRC-32 算法)	GB/T 17176.3 - 1997 5.2.4 节规范

6.4.2 字段详解

6.4.2.1 协议 (Proto)

协议标识字段，遵循 GB/T 17176.3-1997《信息技术 开放系统互连 数据链路层帧和差错控制》编码规范，应固定填入 0x59(8 比特位宽)，用于标识同步交换网络 iRAX 协议类型，实现跨设备协议识别。

6.4.2.2 版本 (Version)

协议版本字段，应固定填入 0x1(4 比特位宽)，符合 GB/T 20540-2006《信息技术 系统间远程通信和信息交换 高速以太网层协议规范》版本管理要求，用于协议兼容性适配，当前版本为 V1.0。

6.4.2.3 私密 (Private)

私密，交换通信标志，用于控制报文在交换单元的洪泛特性。

6.4.2.4 优先级 (Priority)

优先级字段(3 比特位宽)，定义网络调度优先级，符合 GB/T 30271-2013《数字通信系统 优先级调度技术要求》分级规则。命令帧与对应响应帧优先级需保持一致，最高优先级为 0x7，最低为 0x0，具体映射关系见表 5：

表 5 优先级字段说明

序号	优先级	消息类型	简称	解释
1	7	Message Start of High Priority	mSOH	NC 发起的网络周期高优先级起始消息
2	6	Message Start of Low Priority	mSOL	NC 发起的网络周期低优先级起始消息
3	5	非周期高优先级消息 Non-Periodic high-priority messages	NPH	非周期高优先级调度消息优先级
4	4	周期高优先级消息 Periodic high-priority messages	PH	周期高优先级调度消息优先级
5	3	保留	RSVD	保留
6	2	非周期低优先级消息 Non-Periodic Low-priority messages	NPL	非周期低优先级调度消息优先级
7	1	周期低优先级消息 Periodic Low-priority message	PL	周期低优先级调度消息优先级
8	0	直传消息 Direct Trasmision Message	DT	由 NT 发起的直传调度消息优先级

6.4.2.5 命令序号 (Command Sequence)

命令序号字段(14 比特位宽，简称 CSeq)，遵循 GB/T 16681-2008“命令/响应原语关联”要求，取值范围 1~16383，NC 每发送 1 个命令帧，CSeq 递增 1；达到 16383 后回卷为 1。响应帧需与对应命令帧 CSeq 严格一致，用于重传校验与命令关联。

6.4.2.6 重传(Retry)

重传控制字段(2 比特位宽)，符合 GB/T 30271-2013 “重传机制规范”，最多支持 3 次重传。首次传输 Retry=0x0，第 1 次重传 Retry=0x1，第 2 次重传 Retry=0x2，第 3 次重传 Retry=0x3；超过 3 次重传则触发通信错误(7.1.3 节重传流程)。

6.4.2.7 源终端地址(Source NT)

源终端地址字段(16 比特位宽)，遵循 GB/T 20540-2006 “地址编码规范”，标识发送帧的终端(NT)物理地址，支持 2¹⁶ 终端寻址，用于网络层路由与链路层源标识。源响应标识

6.4.2.8 响应标识(Response Indicator)

响应标识字段(1 比特位宽)，符合 GB/T 16681-2008 “命令 / 响应服务原语”定义：0x0 标识命令帧(用于发起请求)，0x1 标识响应帧(用于反馈请求结果)，实现命令-响应逻辑关联。

6.4.2.9 命令(Command)

命令字段(5 比特位宽)，定义命令响应式消息的交互类型，遵循 GB/T 16681-2008 《信息技术 开放系统互连 数据链路层服务定义》“命令/响应原语”规范，具体映射关系如表 6 所示：

表 6 命令字段定义

序号	CMD	对应消息	中文释义
1	0x0	NC-NT Message	NC-NT 消息
2	0x1	NT-NC Message	NT-NC 消息
3	0x2/0x12	NT-NT Message	NT-NT 消息
4	0x3	RSVD	保留
5	0x4	NT-NT Direct Message	NT-NT 直传消息
6	0xA	Start of High Priority Message	周期高优先级起始模式消息
7	0xB	Start of Low Priority Message	周期低优先级起始模式消息
8	0xC	Mode TimeSync Message	时间同步消息模式
9	0xD	Mode Vector Word Message	矢量字查询模式消息
10	0xE	Mode SNMP Message	SNMP 管理模式消息
11	其它	RSVD	保留

6.4.2.10 端口服务类型(Sub Address Server Type, SAST)

端口服务类型字段(2 比特位宽)，用于定义子地址(SA)的服务属性，符合 GB/T 20540-2006 《信息技术 系统间远程通信和信息交换 高速以太网层协议规范》“端口精细化管理”要求，具体类型如表 7 所示：

表 7 子地址服务类型定义

序号	SA	名称	简称	解释
1	0x0	Queuing Server	Queuing	队列服务子地址

序号	SA	名称	简称	解释
2	0x1	Sampling Server	Sampling	采样服务子地址
3	0x2	Server Access Point	SAP	服务访问点子地址
4	0x3	Fixed Server	Fixed	确定访问端口，以及未知端口类型，由响应端确定

6.4.2.11 帧索引 Frame Index

帧索引字段(8 比特位宽)，支持周期消息的多帧分片传输，遵循 GB/T 16681-2008 “可变长服务数据单元” 分片规则：

- 分片触发：当应用负载>最大单帧负载(见 6.4.1 节 Payload Length 约束)时，触发数据拆分；
- 分片规则：首帧至倒数第二帧负载为最大长度(对齐 4 字节)，尾帧承载剩余数据；
- 索引范围：FIDX 取值 0~255，支持最多 256 个分片帧，单帧传输时 FIDX=0；
- 协议约束：协议栈需兼容单帧/多帧传输，多帧场景按需启用分片(如大负载业务)。

6.4.2.12 目的地址(Destination NT,DNT)

目的地址字段(16 比特位宽)，遵循 GB/T 20540-2006 “地址编码规范”，标识报文接收终端(NT)的物理地址，用于网络层路由与链路层目的标识，与源终端地址(6.4.2.7 节)协同实现端到端通信

6.4.2.13 子地址 Sub Address

子地址字段(16 比特位宽)，用于终端(NT)内部子系统/功能模块的精细寻址，符合 GB/T 16681-2008 “服务访问点” 定义：

- 地址范围：0~65535(2^{16} 地址空间)；
- 类型关联：子地址类型由 SAST 字段(6.4.2.10 节)定义，支持队列、采样等 4 类服务(表 7)；
- 应用场景：区分终端内数据缓冲区、功能模块(如飞控子系统、导航子系统)。

6.4.2.14 负载长度 Payload Length

负载长度字段(16 比特位宽)，标识有效载荷的字节数，遵循 GB/T 17176.3-1997 《信息技术 开放系统互连 数据链路层帧和差错控制》“长度字段规范”：

- 计算范围：仅包含 Payload(有效载荷)长度，不含 Head、FCS 及填充字节(如 4 字节对齐补 0)；
- 取值约束：0~3948 字节(与 6.4.1 节 Payload 字段定义协同)。

6.4.2.15 组合标志(Flags)

组合标志字段(8 比特位宽)，用于承载消息控制标识，遵循 GB/T 16681-2008 《信息技术 开放系统互连 数据链路层服务定义》“控制标志位管理” 规范，各比特位定义如表 8 所示：组合标志字段定义：

表 8 组合标志字段定义

序号	比特位范围	名称标识	缩略语	中文释义	功能说明
1	7:5	RSVD	RSVD	保留	固定填 0，遵循 GB/T 1.1-2020 “预留字段规范”
2	4	Force Retry	FR	强制重传	0=常规重传(7.1.3 节机制)；1=强制重传(7.1.5 节)
3	3	Empty Message	EM	空消息	SA=Sampling 时，标识未初始化/缓冲区为空
4	2	No Response	NR	免响应	1=无需响应(7.1.6 节免响应机制)

序号	比特位范围	名称标识	缩略语	中文释义	功能说明
5	1	Refresh	RF	数据更新	SA=Sampling 时：1=新数据，0=旧数据；其他 SA 固定 1(新数据)
6	0	More Frame	MF	多帧标志	0=尾帧(分片结束)；1=中间帧(多帧传输，6.4.2.11 节)

6.4.2.16 响应码(Response Code, RC)

6.4.2.16.1 响应码编码

响应码字段(8 比特位宽)，用于标识响应帧的命令执行状态，遵循 GB/T 16681-2008《信息技术 开放系统互连 数据链路层服务定义》“差错控制原语”规范，命令帧 RC 固定为 0x00，响应帧 RC 定义如表 9 所示：

表 9 响应码字段定义

序号	编码	名称	缩略语	功能说明
1	0x00	Response OK	ROK	响应正确，符合 GB/T 16681-2008 5.4.1 节“成功响应”规范
2	0x81	SA Receive Error	SRE	SA 接收错误：SA 未初始化或接收使能未开启(6.4.2.13 节子地址机制)
3	0x82	SA Transmit Error	STE	SA 发送错误：SA 未初始化或发送使能未开启(6.4.2.13 节子地址机制)
4	0x83	SA Empty	SAE	SA 发送缓冲区为空：初始化并打开发送使能后仍无数据
5	0x84	SA Full	SAF	SA 接收缓冲区已满：初始化并打开接收使能后仍无法接收
6	0x85	NT Error	NTE	NT 终端错误：由 HOST 配置 NT 错误寄存器触发
7	0x86	More Frame Timeout	MFT	多帧超时错误：接收到前序帧后未在超时时间内接收后续帧(7.1.4 节多帧重传)
8	0x87	SA Type Error	STE	SA 类型不匹配：响应端 SA 类型与命令帧 SAST 字段不一致(6.4.2.10 节 SAST 机制)
9	0x88	No Response Error	NRE	无响应错误：命令端超时或重传后未收到响应(7.1.3 节基本重传)
10	0x89	Message Retry Failed	MRF	消息重传失败：达到最大重传次数后仍失败(7.1.3 节基本重传)
11	其它	NA Error	NAE	未定义错误：非上述类型的响应码(GB/T 1.1-2020“预留错误码”规范)

6.4.2.16.2 互斥响应规则

SAE 与 STE 互斥：SAE 表示发送端无数据，STE 表示发送端错误，两者不会同时出现；

SAF 与 SRE 互斥：SAF 表示接收端缓冲区满，SRE 表示接收端未使能，两者不会同时出现。

6.4.2.16.3 多帧超时判定

MFT 错误触发条件为：接收到 FIDX=n 且 MF=1 的帧后，未在超时时间内接收到 FIDX=n+1 的帧(7.1.4

节超时参数)。

6.4.2.16.4 应用层上报逻辑

NRE/MRF 由传输层直接上报应用层，触发业务层重处理机制。

6.4.2.17 帧校验序列(Frame Check Sequence, FCS)

6.4.2.17.1 报文完整性检验

帧校验序列字段(32 比特位宽)，用于保障报文传输完整性，遵循 GB/T 17176.3-1997《信息技术 开放系统互连 数据链路层帧和差错控制》“循环冗余校验”规范，具体技术要求如下。

6.4.2.17.2 校验算法规范

表 10 校验算法规范

序号	项目	技术参数	实现细节
1	算法类型	CRC-32(GB/T 30276-2013 5.2 节)	采用 32 位循环冗余校验，支持 $2^{32}-1$ 种校验组合
2	生成多项式	$G(x) = x^{32} + x^{26} + x^{23} + x^{22} + x^{16} + x^{12} + x^{11} + x^{10} + x^8 + x^7 + x^5 + x^4 + x^2 + x + 1$	十六进制表示为 0x04C11DB7(GB/T 17176.3-1997 5.2.4 节)
3	计算方式	从最高位(MSB)开始逐位计算，结果取反	计算时在 Payload 后填充 4 字节 0，校验结果取反后存入 FCS 字段(6.4.1 节报文结构)

6.4.2.17.3 校验范围定义

校验范围覆盖报文 Head 字段至 Payload 字段(不含 FCS 自身)，具体包括：

- a) Head 字段：Proto、Version、Priority 等 32 位首部控制信息(6.4.2.1~6.4.2.16 节)；
- b) Payload 字段：有效载荷数据(含 4 字节对齐填充字节)。

6.4.2.17.4 工程实现要求

校验流程如下：

- a) 发送端：构造 Head+Payload 后，计算 CRC-32 并取反，将结果填入 FCS 字段；
- b) 接收端：提取 Head+Payload，计算 CRC-32 并与接收到的 FCS 字段取反值比对，一致则校验通过(GB/T 17176.3-1997 5.3 节)。

6.4.2.17.5 误码指标

校验错误率 $\leq 10^{-10}$ ，符合 GB/T 30271-2013《数字通信系统校验技术规范》“高可靠性通信”要求。

6.5 地址识别

6.5.1 终端

同步交换网络 iRAX 终端配置应符合 GB/T 16264.3-2019《信息技术 开放系统互连 网络服务定义》地址管理规范，具体要求如下：

网络组成：应至少包含 1 个网络控制器(NC)和 1 个网络终端(NT)，且仅允许 1 个活动 NC；
调度机制：NT 应接受 NC 的周期调度。

6.5.2 寻址

同步交换网络 iRAX 采用 16 位 NT 地址寻址，地址空间分配符合 GB/T 17173.1-1997《信息技术 开放系统互连 网络层安全协议》，具体划分如下：

表 11 寻址范围定义

序号	地址类型	地址范围	功能说明
1	单播地址	0x0000~0xFEFF	标识唯一终端，各终端需配置本地单播地址
2	组播地址	0xFF00~0xFFFD	支持 254 个组播组，用于多终端同时寻址
3	未知地址	0xFFFE	传输层与 mLS 应用，标识未识别终端
4	广播地址	0xFFFF	网络内所有终端寻址(GB/T 21645-2008)

6.5.3 单播

数据链路层处理单播地址时，应执行以下操作(GB/T 16681-2008 5.2.3 节)：

- a) 提取帧中目的地址(DNT)与本地 NT 地址比对；
- b) 匹配成功则提交网络层处理，否则丢弃报文。

6.5.4 组播

组播地址处理需符合 GB/T 16264.3-2019 “组播服务原语”规范：

- a) 每个 NT 应预配置组播订阅表，映射 0xFF00~0xFFFD 地址；
- b) 接收到组播帧后，与订阅表比对，匹配成功则提交网络层，否则丢弃。

6.5.5 广播

广播地址(0xFFFF)处理应满足：

- a) 所有 NT 应支持广播帧接收；
- b) 接收到广播帧后直接提交网络层，不执行地址过滤。

6.6 冗余处理

6.6.1 帧复制

帧复制机制遵循 GB/T 16681-2008《信息技术 开放系统互连 数据链路层服务定义》5.4 节“冗余传输服务”规范，具体要求如下：

媒体通道管理：

- a) 应根据网络冗余度配置对应数量的媒体通道(如双冗余度网络需 2 个独立通道)；
- b) 每个通道需独立处理帧复制，确保冗余帧同步传输。

复制流程：

- a) 网络层数据报文进入数据链路层后，应按通道数量生成副本；
- b) 副本通过各冗余物理通道并行发送，发送时序差≤10ns(GB/T 30271-2013《数字通信系统校验技术规范》)。

6.6.2 帧消除

帧消除机制需满足以下要求：

- a) 消除触发条件：接收到冗余帧时，通过 UFID(唯一帧标识)执行去重(6.6.3 节)；
- b) 处理时效：帧消除延迟≤500ns。

6.6.3 帧唯一性

6.6.3.1 帧唯一标识(Unique Frame Indicator, UFID)

帧在数据链路层的唯一标识定义为 UFID, 由数据帧的多个字段组成。

UFID 的组成如表 12 所示：

表 12 UFID 组成

序号	字段	位宽	备注
1	Command Sequence	14	消息顺序标识, 1~16383 循环
2	Retry	2	区分原始帧与重传帧(0~3 次重传)
3	Source NT	16	发送端 NT 地址, 唯一标识数据源
4	Response Indicator	1	0=命令帧/1=响应帧
5	Command	5	区分消息类型(如 0x0=NC-NT 消息)
6	Frame Index	8	多帧序列标识(0~255, 6.4.2.11 节)

6.6.3.2 UFID 计算规则

UFID= CSeq (14b) + Retry (2b) + SNT (16b) + RI (1b) + CMD (5b) + FIDX (8b)，共 46 比特，在 CSeq 回卷周期内(≤16383 次)可确保帧唯一性。

6.6.3.3 UFID 提取

UFID 提取流程应符合 GB/T 16681-2008 “帧解析服务”规范：

- a) 各媒体通道接收帧时，同步提取报文中的 CSeq、SNT 等字段；
- b) 按 46 比特规则组合生成 UFID，用于后续去重处理。

6.6.3.4 历史记录表

历史记录表管理要求如下：

存储结构：采用哈希表存储已接收帧的 UFID，容量≥1024 条目；

时间戳机制：

- a) 配备 16 位微秒级循环计数器，精度≤1 μs；
- b) 每条 UFID 记录需关联计数器值，用于老化判断(GB/T 30271-2013)。

6.6.3.5 帧消除

帧消除逻辑遵循“三态判断”原则(GB/T 16681-2008 5.4.3 节)：

- a) 未匹配 UFID：判定为新帧，提交网络层并记录 UFID + 时间戳；
- b) 匹配且超时：UFID 已记录但时间差>老化阈值(默认 10ms)，视为有效帧并更新记录；
- c) 匹配且未超时：判定为冗余帧，直接丢弃。

6.7 交换过程

6.7.1 数据链路层接收

交换终端数据链路层接收处理应符合 GB/T 16681-2008《信息技术 开放系统互连 数据链路层服务定义》5.2 节规范，具体流程如下：

- a) 定界检测：端口检测到有效帧定界符(SOF/EOF)后，启动报文解析；
- b) UFID 提取：按报文格式顺序提取交换标识信息，UFID 组成如下：
 - 1) 私密通信标记(Private)：1 比特，0=泛洪交换，1=单播/组播专用；
 - 2) 目的地址(DNT)：16 比特，标识接收终端地址；
 - 3) 源终端地址(SNT)：16 比特，标识发送终端地址。

6.7.2 交换过程

交换过程遵循 GB/T 17901.1-1999《信息技术 开放系统互连 网络层安全协议》交换路由规范，按地址类型分类处理如表 13 所示：

表 13 交换过程

序号	交换类型	触发条件	处理逻辑
1	泛洪交换	Private=0	不查询 DNT 地址,通过交换平面广播至除接收端口外的所有终端端口(GB/T 16681-2008 5.3 节)
2	单播交换	$DNT \in [0x0000, 0xFEFF]$	按 DNT 查询交换表，定位目标端口并转发至缓冲区(GB/T 17173.1-1997 地址解析规范)
3	广播交换	DNT=0xFFFF	广播至除接收端口外的所有终端端口(GB/T 21645-2008 广播机制)
4	组播交换	$DNT \in [0xFF00, 0xFFFD]$	按 DNT 查询组播表，转发至所有订阅该组播地址的端口
5	未映射地址交换	交换表中无 DNT 映射	启动地址自学习机制，先泛洪交换至所有端口，同时更新交换表(GB/T 16264.3-2019 自学习规范)

6.7.3 地址自学习

6.7.3.1 接收报文自学习

接收报文自学习机制遵循 GB/T 16264.3-2019《信息技术 开放系统互连 网络服务定义》“地址解析协议”规范，具体流程如下：

- a) 信息提取：交换终端接收到报文后，解析源终端地址(SNT)及接收端口信息；
- b) 表项更新：将“SNT - 接收端口”映射关系提交交换表管理模块，若表中已有该 SNT 记录，则更新端口信息；
- c) 学习时效：自学习延迟 $\leq 1ms$ ，符合 GB/T 17173.1-1997《信息技术 开放系统互连 网络层安全协议》“快速地址绑定”要求。

6.7.3.2 地址老化

交换表管理模块对交换信息长时间未被更新或使用的条目应删除或标记无效，老化规则如表 14 所示：

表 14 老化规则

序号	老化阶段	触发条件	处理动作
1	标记无效	超过 3 个更新周期(默认 10 秒/周期)	交换表管理模块标记该表项为“无效”
2	条目删除	超过 7 个更新周期未收到更新	永久删除表项，释放存储空间
3	端口失效处理	端口无连接状态持续 1 个周期	删除该端口关联的所有交换表项
4	表满置换	交换表容量不足	删除最长未更新的表项

6.7.4 交换终端冗余

6.7.4.1 单交换多余度连接要求

交换终端冗余接入应满足要求如下：

- a) 应支持单交换设备的多冗余端口接入，即单个终端的冗余端口可同时连接至同一交换终端；
- b) 冗余端口间应实现链路层帧复制与消除。

6.7.4.2 交换级联连接要求

交换终端级联机制应满足 GB/T 21645-2008《信息技术 系统间远程通信和信息交换 以太网物理层和数据链路层规范》拓扑要求：

- a) 级联支持：应支持交换终端多级级联，级联层数≥4 层，确保网络扩展能力；
- b) 环形路径支持：支持环形交换拓扑结构，通过去冗余机制避免环路广播风暴

6.7.4.3 去冗余要求

交换终端去冗余机制应与终端侧保持一致，遵循以下规范：

- a) UFID 去重：采用 46 比特唯一帧标识(UFID)进行冗余帧消除，算法与 6.6.2 节终端去冗余原理相同；
- b) 时效要求：去冗余处理延迟≤500ns，符合 GB/T 30271-2013 “高可靠性通信”标准。

6.7.4.4 物理端口多交换地址要求

每个交换物理端口地址绑定应符合 GB/T 16264.3-2019《信息技术 开放系统互连 网络服务定义》地址管理规范：

- a) 每个物理端口应支持绑定≥16 个目标终端地址(DNT)，满足级联场景下的多路径路由需求；
- b) 地址绑定表项更新延迟≤1ms，确保级联链路快速收敛。终端物理端口应支持绑定多个目标终端地址，确保交换机级联；

6.7.4.5 本端口回环要求

交换端口回环控制应遵循 GB/T 17173.1-1997 “端口安全协议”规范：

- a) 默认策略：端口默认禁止本端口报文回环，即接收报文不向本端口转发；
- b) 可配置性：支持通过管理接口配置回环模式，用于链路诊断与测试，回环配置生效时间≤10ms。

6.7.5 镜像端口

6.7.5.1 镜像能力要求

交换终端镜像端口功能应符合 GB/T 16681-2008《信息技术 开放系统互连 数据链路层服务定义》

5.4 节“监控服务”规范，具体要求如下：

- a) 全端口镜像支持：每个物理端口应具备镜像能力，可将其他端口的数据流同步复制到镜像端口；
- b) 镜像时效：数据复制延迟≤100ns，确保监控数据与原始数据的时序一致性(GB/T 30271-2013《数字通信系统校验技术规范》)；
- c) 流量监控范围：支持单播、组播、广播帧的镜像，覆盖所有类型网络流量。

6.7.5.2 镜像端口配置要求

镜像端口配置遵循 GB/T 21645-2008《信息技术 系统间远程通信和信息交换 以太网物理层和数据链路层规范》“端口管理”要求，采用位映射(Bit Map)方式，具体规则如下：

表 15 镜像端口配置规则

序号	配置项	技术参数	实现细节
1	位映射规则	1 位对应 1 个物理端口(GB/T 16264.3-2019)	例如：Bit0 对应 Port0，Bit1 对应 Port1，依此类推，最多支持 64 个端口映射
2	有效映射位	非镜像端口自身的比特位	镜像端口对应的比特位自动置 0，避免自环(GB/T 17173.1-1997 网络层安全规范)
3	配置生效时间	≤5ms	支持动态配置，配置后 5ms 内完成映射关系更新

配置示例：

若镜像端口为 Port5，需监控 Port0、Port2、Port3 的数据，位映射值计算如下：

Port0=0b000000001, Port2=0b00000100, Port3=0b00001000

组合映射值 = 0b00001101(0x0D)，即 Bit0、Bit2、Bit3 置 1，其余位(含 Port5 对应 Bit5)置 0。

6.8 链接过程

6.8.1 链路连接

6.8.1.1 基于以太网链路连接

以太网链路建立应符合 GB/T 15126-2021《信息处理系统 数据链路层服务定义》与 IEEE 802.3-2015 协同规范，具体要求如下：

- a) 自动协商管理：支持链路速率、双工模式自动协商，协商流程符合 IEEE 802.3 Clause 30.6，协商结果需与 GB/T 16681-2008 数据链路层服务匹配；
- b) 链路聚合管理：支持 IEEE 802.3 Clause 30.6 链路聚合(LACP)，聚合组内链路数≤8 条，符合 GB/T 21645-2008 “链路聚合服务原语”规范。

6.8.1.2 基于光纤通道链路连接

光纤通道链路建立遵循 GJB 6410.2-2008《光纤通道 物理和信号接口第 2 部分：FC-PH-2》11.2.1 节规范，流程如下：

表 16 基于光纤通道链路连接过程

序号	阶段	技术参数	处理逻辑
1	复位检测	上电复位后启动 IDLE 原语检测	连续检测 IDLE 原语，默认需检测到 128 个连续正确原语(可配置 64/256/512/1024 个)

序号	阶段	技术参数	处理逻辑
2	链路标记	检测达标后标记链路连接状态	标记后进入数据传输阶段，同步更新 GB/T 16681-2008 链路状态变量
3	错误处理	解码错误触发重新检测	出现 1 次解码错误即重置检测计数，重新积累 IDLE 原语，期间禁止发送数据帧

6.8.2 链路服务消息

链路服务消息属于数据链路层管理服务。

消息属性：由数据链路层自主发送/接收，不提交网络层，消息格式参见 7.4 节“链路服务消息”定义。

7 网络层

7.1 命令响应过程

7.1.1 基本通信过程

7.1.1.1 通信流程

同步交换网络 iRAX 命令/响应通信机制通信流程如图 9 所示：

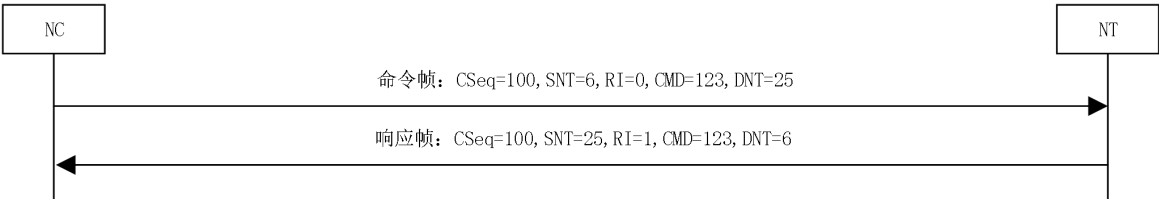


图 9 基本通信过程示意图

7.1.1.2 命令帧构造与发送

网络控制器 (NC) 生成命令帧，包含 14 位命令序号 (CSeq)、源终端地址 (SNT)、目的终端地址 (DNT) 及命令类型 (CMD) 等，其中 CSeq 按 1~16383 循环递增，响应标识 (RI) 置 0。

帧格式符合 6.4.1 节报文规范，校验范围遵循 GB/T 17176.3-1997《信息技术 开放系统互连 数据链路层帧和差错控制》5.2.4 节 CRC-32 算法。

7.1.1.3 响应帧处理逻辑

目标终端 (NT) 接收命令帧后，解析 CSeq 并校验合法性，生成响应帧时交换 SNT 与 DNT，RI 置 1，响应码 (RC) 填入处理结果 (0x0 为成功)。

响应帧需在设置的响应时间内返回。

7.1.1.4 时序约束

NC 发送命令帧后启动超时计时器，默认超时时间 10 μs+帧传输时间 (1Gbps 速率下)，超时未收到响应则触发重传机制 (7.1.3 节)。

7.1.2 多帧通信过程

7.1.2.1 通信流程

同步交换网络 iRAX 支持网络消息的多帧通信，通过 FIDX 字段标记多帧序列，多帧通信过程如图 10 所示：

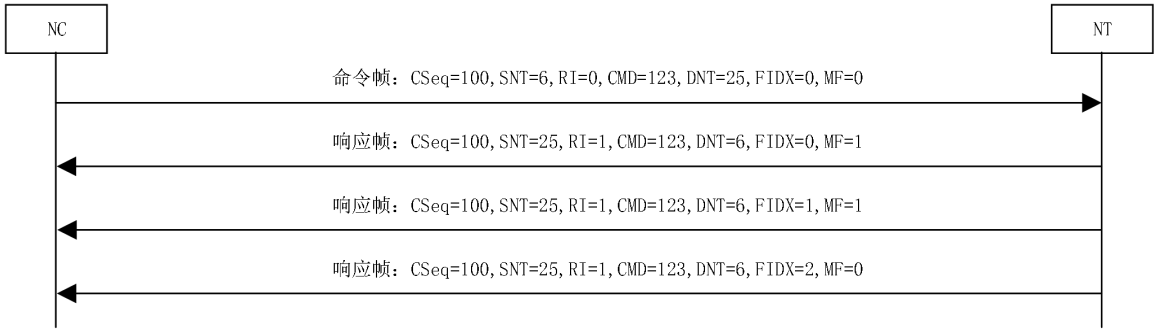


图 10 多帧通信过程示意图

7.1.2.2 多帧通信参数

表 17 所示为多帧通信参数。

表 17 多帧通信参数

序号	项目	技术参数	实现细节
1	帧索引 (FIDX)	8 位字段，0~255	首帧 FIDX=0，后续帧递增，尾帧 FIDX 对应最后一片段索引
2	多帧标志 (MF)	Flags 字段最低位 (6.4.2.15 节)	MF=1 表示中间帧，MF=0 表示尾帧，确保接收端正确重组数据
3	负载拆分规则	4 字节对齐 (6.3.1.6 节)	单帧最大负载 3948 字节，超过则拆分，尾帧包含剩余数据
4	超时控制	多帧总超时为单帧超时的帧数*帧传输时间+10 μs	未收到后续帧时触发重传

7.1.2.3 通信流程示例

- NC 发送 FIDX=0、MF=1 的命令帧→NT 接收后返回 FIDX=0、MF=1 的响应帧；
- NC 发送 FIDX=1、MF=1 的命令帧→NT 返回 FIDX=1、MF=1 的响应帧；
- NC 发送 FIDX=2、MF=0 的尾帧→NT 返回 FIDX=2、MF=0 的响应尾帧，完成多帧交互。

7.1.3 基本重传过程

7.1.3.1 重传机制

网络采用命令响应式通信模式，命令发送方依据响应方的应答消息判定数据完整性。若在设定的超时时间内未收到正确响应帧，发送方将按配置发起重传操作。

7.1.3.2 重传触发条件

- 当出现以下情况时，命令发送方启动重传流程：
- a) 响应方未在超时时间内返回响应帧；
 - b) 收到的响应帧包含错误(如响应码非“ROK”)。

7.1.3.3 重传操作流程

重传流程如图 11 所示：

- a) 初始命令发送：命令发送方发送初始命令帧，其中 Retry 字段初始值为 0。
- b) 超时检测：发送方启动超时计数器，若超时时间内未收到有效响应，执行下一步。
- c) Retry 字段更新：Retry 字段值递增 1 (如首次重传时 Retry=1)，重新封装命令帧。
- d) 重传发送：发送方发送重传命令帧，并重新启动超时计数器。
- e) 循环重传：重复步骤 2-4，直至满足以下任意条件：
- f) 收到响应方返回的正确响应帧 (响应码为 0x00)；
- g) 重传次数达到协议配置的最大重传次数 (默认最多 3 次重传，Retry 字段最大值为 3)。

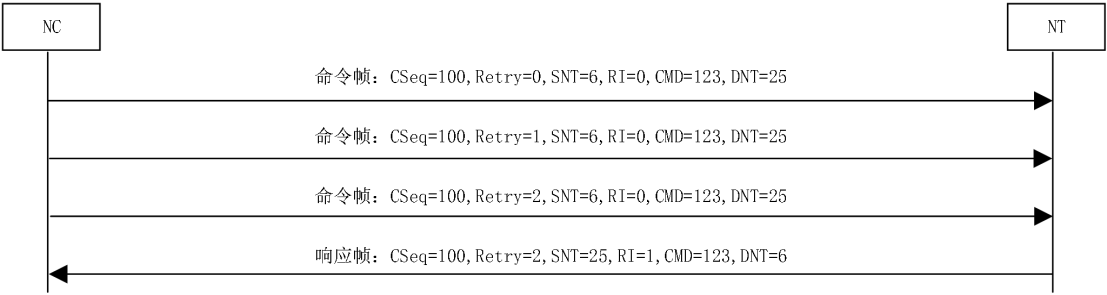


图 11 基本重传过程示意图

7.1.3.4 重传失败处理

当重传次数达到上限仍未收到有效响应时，发送方向主机 (Host) 返回错误响应码 RC. MRF (消息重传失败)，标识通信失败。

7.1.3.5 关键参数

表 18 关键参数

序号	参数	定义
1	超时时间	可配置，单位为微秒 (μs)，1Gbps 速率下默认超时时间为 10 μs，每增加一跳交换机增加 5 μs。
2	最大重传次数	可配置，默认支持 3 次重传 (Retry 字段取值范围 0~3)。
3	响应码 RC. MRF	取值 0x89，表示消息重传失败，由传输层上报至应用层。
4	多帧总超时为单帧超时的帧数倍	未收到后续帧时触发重传

7.1.4 多帧重传过程

7.1.4.1 重传触发机制

命令发起者基于以下条件触发多帧重传：

- a) 超时检测：在设定的超时时间内未接收到下一帧的有效帧索引 (FIDX) 标记；
- b) 响应错误：接收到的响应帧中组合标志 (Flags. MF) 或帧索引 (FIDX) 存在异常，无法确认多帧序列完整性。

7.1.4.2 多帧序列完整性判断规则

尾帧识别：通过组合标志字段 Flags. MF 判断多帧序列尾帧：

- a) Flags.MF=0：标识当前帧为尾帧，多帧传输结束；
 - b) Flags.MF=1：标识后续仍有帧，需继续接收。
- 帧索引连续性：相邻帧的 FIDX 需满足 $FIDX(n+1)=FIDX(n)+1$ ，否则判定序列中断。

7.1.4.3 重传操作流程

多帧重传流程如图 12 所示：

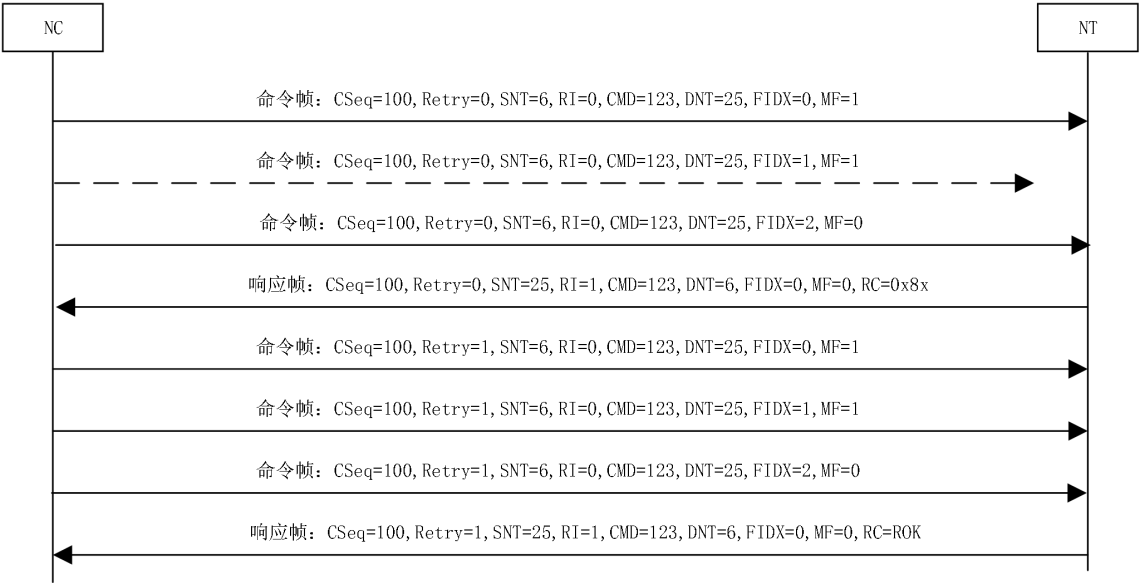


图 12 多帧重传过程示意图

重传操作流程如下：

- a) 初始传输：发送多帧命令序列，首帧 FIDX=0，非尾帧 Flags.MF=1，尾帧 Flags.MF=0；
- b) 超时/错误检测：命令发起者启动超时计数器，若未收到下一帧或接收到错误响应，执行重传；
- c) Retry 字段更新：每次重传时 Retry 字段值递增 1（取值范围 0~3），重新封装命令帧；
- d) 重传发送：携带更新后的 Retry 和原 FIDX、Flags.MF 字段，重新发送中断的多帧序列；
- e) 循环重传：重复步骤 2-4，直至满足以下条件之一：
 - 1) 完整接收多帧序列（所有帧 FIDX 连续且尾帧 Flags.MF=0）；
 - 2) 重传次数达到协议上限（默认 3 次重传，Retry=3）。

7.1.4.4 重传失败处理

当重传次数达上限仍未完成多帧序列接收时，命令发起者向主机 (Host) 返回响应码 RC.MRF (消息重传失败，取值 0x89)，标识通信失败。

7.1.4.5 关键参数

表 19 关键参数

序号	参数	定义
1	超时时间	可配置，默认值需满足协议要求 (如 1Gbps 速率下超时时间 ≥ 多帧传输最大耗时)。
2	最大重传次数	默认为 3 次，对应 Retry 字段取值 0~3。

序号	参数	定义
3	响应码 RC. MRF	取值 0x89，由传输层上报至应用层，标识多帧重传失败。
4	帧索引 FIDX	8 位字段，标识多帧序列中的帧序号，范围 0~255。

7.1.5 强制重传过程

7.1.5.1 强制重传机制

网络支持强制重传机制，通过数据帧冗余传输提升通信可靠性。命令发起者通过报文中的组合标志字段 (Flags.FR) 标识强制重传请求。

7.1.5.2 重传操作流程

重传操作流程如图 13 所示：

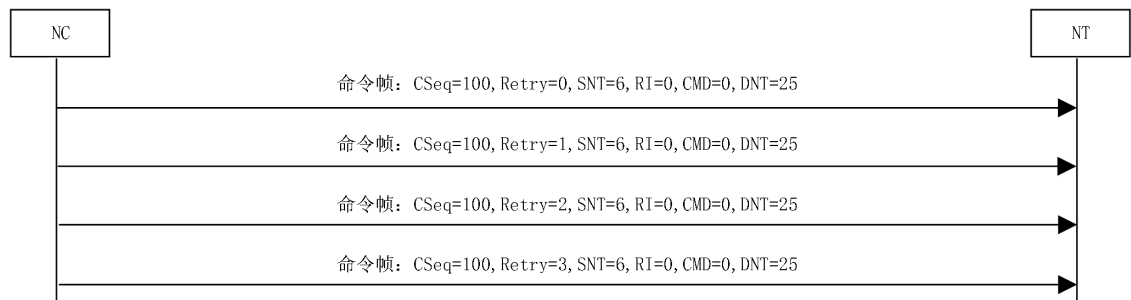


图 13 强制重传过程示意图

流程如下：

- a) 强制重传帧发送：命令发起者发送 Flags.FR=1 的命令帧，此时：
- b) 接收终端接收到该帧后，不返回响应；
- c) 帧中 Retry 字段按实际重传次数递增(如首次强制重传 Retry=1)。
- d) 终止强制重传：命令发起者发送 Flags.FR=0 的命令帧时，接收方恢复正常响应机制，需返回响应帧。
- e) 重传次数限制：强制重传次数受 Retry 字段约束(默认最多 3 次重传，Retry 取值 0~3)。

7.1.5.3 响应机制约定

FR=1 时：响应者对接收到的命令帧不执行响应，仅缓存数据；
FR=0 时：响应者需对最新命令帧返回响应，响应码 (RC) 需符合协议要求(如 0x0 表示成功)。

7.1.5.4 免响应过程

网络支持免响应通信过程，命令发起者通过 Flags.NR 字段标志位实现免响应过程标识，免响应通信过程中，NT 无需发送响应帧。

7.1.5.5 关键字段定义

表 20 为强制重传关键字段定义。

表 20 关键字段定义

序号	字段	取值/定义
1	Flags.FR	1 位标志位，FR=1 为强制重传帧，FR=0 为普通帧。
2	Retry	2 位字段，重传次数计数器，每次重传递增 1，最大值 3。

7.2 基本消息

7.2.1 基本消息类型

表 21 所示为基本消息类型，以及各个消息的命令源与目的、数据源与目的。

表 21 消息类型定义

序号	消息类型	数据源与目的	命令源	响应源	说明
1	NC-NT	NC→NT	NC	NT	NC 发起向 NT 发送数据，支持多帧传输及免响应
2	NC-NT-B	NC→所有 NT	NC	--	NC 发起向所有 NT 广播数据 (NT=0xFFFF)，不支持响应
3	NT-NC	NT→NC	NC	NT	NC 发起 NT 向 NC 回传数据，支持多帧传输
4	NT-NT	NT1→NT2	NC/NT1	NT2	NC 或 NT1 发起 NT1 向 NT2 发送数据，支持多帧传输及免响应。NC 发起时 CMD=0x2，NT1 发起时 CMD=0x12，NT2 以 CMD=0x2 响应
5	NT-NT-B	NT1→所有 NT	NC	--	NC 发起 NT1 向所有 NT 广播数据 (NT=0xFFFF)，不支持响应
6	NT-NTD	NT1→NT2	NT1	NT2	NT1 发起向 NT2 直接传输数据，不支持多帧传输，支持免响应
7	NT-NTD-B	NT1→所有 NT	NT1	--	NT1 发起向所有 NT 广播数据 (NT=0xFFFF)，不支持响应

7.2.2 NC-NT 消息 (CMD=0x0)

7.2.2.1 消息流程

NC-NT 消息是 NC 向 NT 发送控制指令或数据的过程，目标 NT 需向 NC 返回响应帧，基本流程如图 14 所示。：



图 14 NC-NT 消息流程示意图

7.2.2.2 消息描述

消息简写格式为：SNT-DNT-SA-R-Len，其中：

- a) SNT：NC 地址；
- b) DNT：接收命令的 NT 地址；

- c) SA: 子地址;
- d) R(Receive): 标识 DNT 处于接收状态;
- e) Len: 数据负载长度(单位: 字节)。

示例:

2-15-0x34-R-78 表示 NC(SNT=2)向 NT(DNT=15)的 0x34 端口发送 78 字节数据。

7.2.3 NC-NT-B 广播消息 (CMD=0x0)

7.2.3.1 消息流程

NC-NT-B 消息是 NC 向所有 NT 广播数据的过程, 无需响应, DNT 固定为 0xFFFF, 流程如图 15 所示。

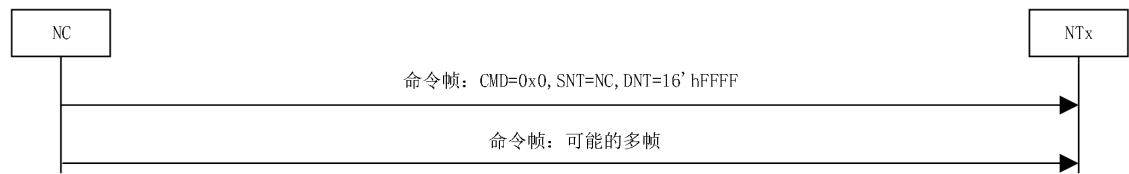


图 15 NC-NT-B 广播消息流程示意图

NC-NT-B 消息无需响应, DNT=0xFFFF。

7.2.3.2 消息描述

消息简写格式为: SNT-B-SA-R-Len, 其中:

B: 广播地址 (DNT=0xFFFF);

其余字段定义同 7.2.2.2。

7.2.4 NT-NC 消息 (CMD=0x1)

7.2.4.1 消息流程

NT-NC 消息是 NC 命令 NT 向 NC 回传数据的过程, NT 核实命令后返回带数据或异常的响应帧, 支持多帧传输, 流程如图 16 所示。

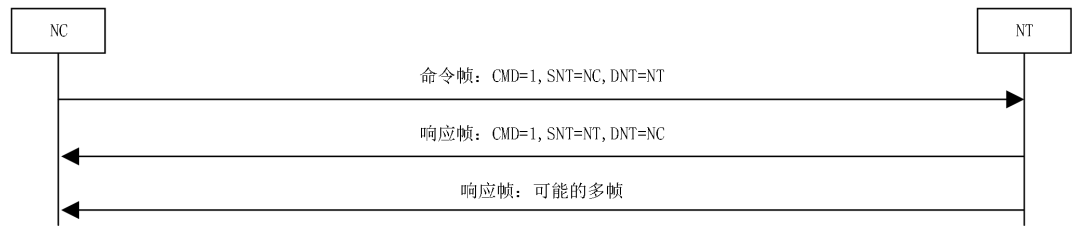


图 16 NT-NC 消息流程示意图

7.2.4.2 消息描述

消息简写格式为: SNT-DNT-SA-T-Len, 其中:

T(Transmit): 标识 DNT 处于发送状态;

其余字段定义同 7.2.2.2。

7.2.5 NT-NT 消息 (CMD=0x2/0x12)

7.2.5.1 消息流程

NT-NT 消息是 NC 调度 NT1 向 NT2 传输数据的过程：

- a) NC 向 NT1 发送命令帧 (CMD=0x2)；
- b) NT1 核实后向 NT2 发送数据帧 (CMD=0x2)；
- c) NT2 接收后向 NC 返回响应帧 (CMD=0x2)，支持多帧传输，流程如图 17 所示。

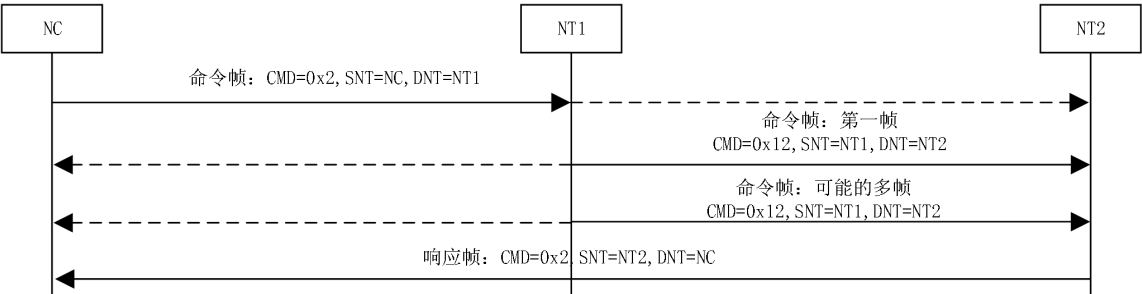


图 17 NT-NT 消息流程示意图

图 17 中，实线表示报文的传输路径。虚线表示这些报文也能够被虚线所指向的终端接收到。

7.2.5.2 消息描述

NT-NT 消息可以简写为如下格式：

SNT-DNT-SA-NT2-Len

SNT 为 NC 地址，DNT 为需要传输数据的 NT 地址，NT2 是接收数据的 NT 地址，Len 标识数据负载长度。

7.2.6 NT-NT-B 广播消息 (CMD=0x2/0x12)

7.2.6.1 消息流程

NT-NT-B 消息是 NC 命令 NT1 向所有 NT 广播数据的过程：

- a) NC 向 NT1 发送广播命令；
- b) NT1 发送 DNT=0xFFFF 的广播帧，不支持响应及多帧传输，流程如图 18 所示。

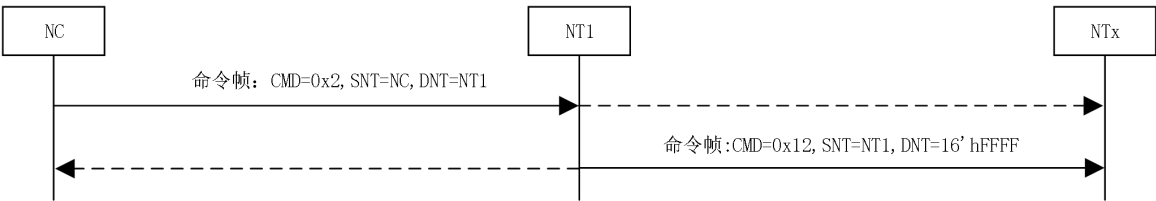


图 18 NT-NT-B 广播消息流程示意图

NT-NT-B 广播消息不支持重传，支持强制重传。

7.2.6.2 消息描述

消息简写格式为：SNT-DNT-B-SA-Len，其中：

- a) B：广播地址 (DNT=0xFFFF)；
- b) 其余字段定义同 7.2.2.2。

7.2.7 NT-NTD 消息 (CMD=0x4)

7.2.7.1 消息流程

NT-NTD 消息是 NT1 直接向 NT2 传输数据的过程(不经过 NC 调度)，支持免响应、重传及强制重传，不支持多帧，流程如图 19 所示。

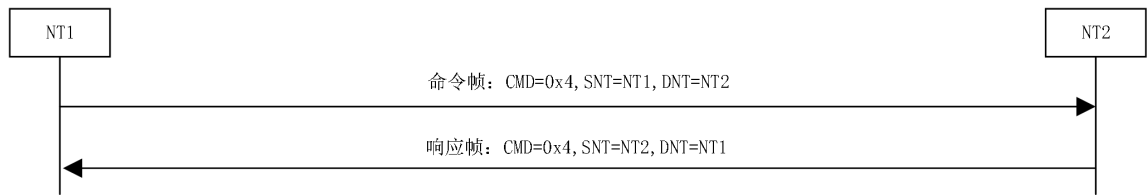


图 19 NT-NTD 消息流程示意图

NT-NTD 直传消息支持免响应、重传、强制重传，不支持多帧。

7.2.7.2 消息描述

消息简写格式为：SNT-DNT-D-SA-Len，其中：

- a) D：标识直传(不经 NC 调度)；
- b) SNT：NT1 地址，DNT：NT2 地址；
- c) 其余字段定义同 7.2.2.2。

7.2.8 NT-NTD-B 广播消息 CMD=0x4

7.2.8.1 消息流程

NT-NTD-B 消息是 NT1 直接向所有 NT 广播数据的过程(不经过 NC 调度)，支持强制重传，不支持响应及多帧，流程如图 20 所示。

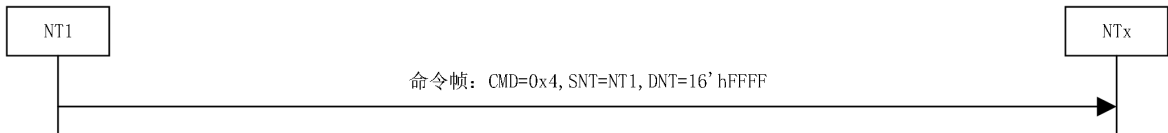


图 20 NT-NTD-B 广播消息流程示意图

NT-NTD-B 直传广播消息不支持响应，支持强制重传，不支持多帧。

7.2.8.2 消息描述

消息简写格式为：SNT-B-D-SA-Len，其中：

- a) SNT：NT1 地址，B：广播地址(DNT=0xFFFF)；
- b) D：标识直传消息；
- c) 其余字段定义同 7.2.2.2。

7.3 模式消息

7.3.1 模式消息类型

表 22 所示为模式消息的类型，以及各个模式消息的命令源与目的、数据源与目的。

表 22 模式消息类型

序号	类型	数据源与目的	命令源	响应源	说明
1	mSOH	NC→所有 NT	NC	—	NC 发起的网络周期起始广播消息(NT=0xFFFF)

序号	类型	数据源与目的	命令源	响应源	说明
2	mSOL	NC→所有 NT	NC	—	NC 发起的周期内低优先级起始广播消息 (NT=0xFFFF)
3	mTS	NC⇌NT	NC	NT	NC 发起的时间同步消息, 支持双向负载传输, 负载格式见附录
4	mSNMP	NC⇌NT	NC/NT	NT/NC	网络管理消息, 支持双向负载传输, 负载格式见附录
5	mVWQ	NC⇌NT	NC	NT	NC 发起的矢量字查询消息, 支持双向负载传输, 负载格式见附录

7.3.2 mSOH 模式消息 (CMD=0xA)

周期高优先级起始模式消息 (Mode Cycle Start of High Priority Message), 图 21 所示由 NC 发起的广播消息, 用于标识传输层调度新周期的起始。

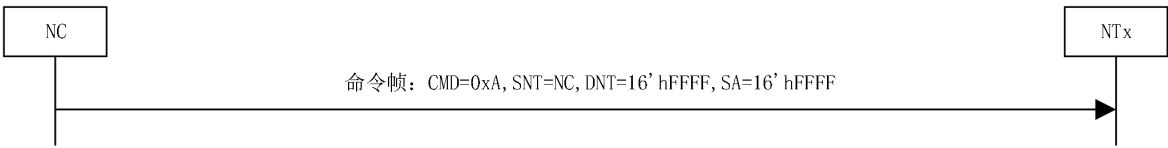


图 21 mSOH 消息流程示意图

界定网络周期内高优先级阶段的开始, 触发各终端同步更新周期时序。

7.3.3 mSOL 消息 (CMD=0xB)

周期低优先级起始模式消息 (Mode Cycle Start of Low Priority Message), 图 22 所示由 NC 发起的广播消息。

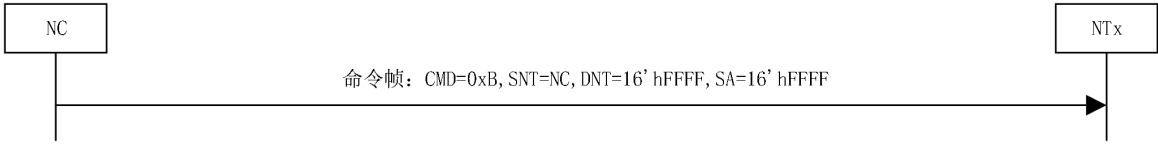


图 22 mSOL 消息流程示意图

界定网络周期内低优先级阶段的开始, 允许低优先级消息进行调度传输。

7.3.4 mTS 消息 (CMD=0xC)

时间同步模式消息 (Mode TimeSync Message), 图 23 所示由 NC 发起的命令响应式双向负载消息。

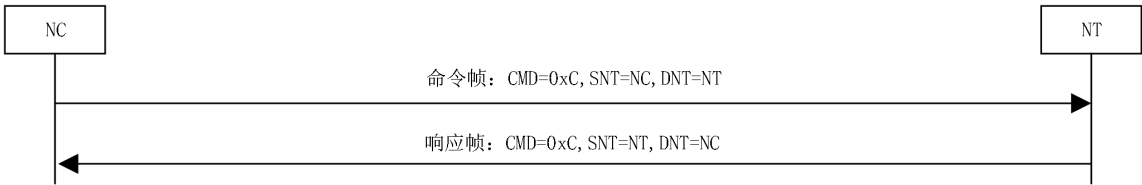


图 23 mTS 消息流程示意图

实现网络内终端的时间同步, 通过往返消息交互测量时钟偏差并校准。

7.3.5 mSNMP 消息 (CMD=0xD)

网络管理模式消息 (Mode Simple Network Management Protocol Message), 支持 NC 或 NT 发起的

命令响应式双向负载消息。

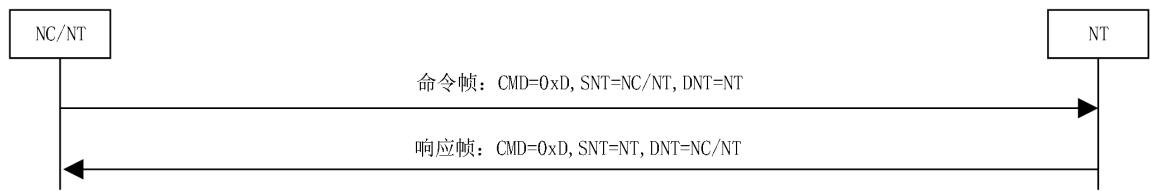


图 24 mSNMP 消息流程示意图

用于网络设备的配置、监控及状态管理，支持寄存器读写等管理操作。

7.3.6 mVWQ 消息 (CMD=0xE)

矢量字查询模式消息 (Mode Vector Word Query Message)，图 25 所示由 NC 发起的命令响应式双向负载消息。

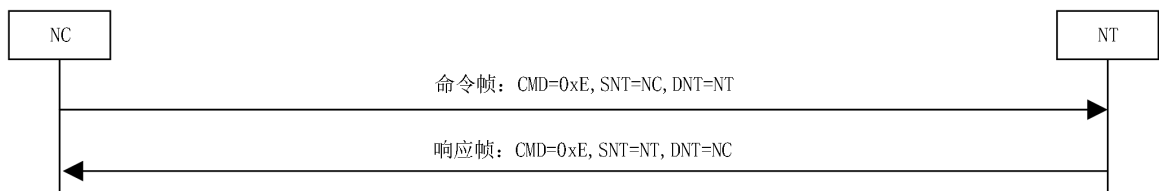


图 25 mVWQ 消息流程示意图

查询目标 NT 的子地址缓冲区数据状态，支持动态带宽管理中的矢量字映射查询。

7.4 链路服务消息

7.4.1 链路服务

链路服务消息属于数据链路层消息，为保持消息规范的一致性，本节对链路服务消息流程进行规范。链路服务消息由终端链路层在链路连接建立后主动发起。。

7.4.2 数据负载要求

链路服务消息报文格式要求如图 26 所示，表 23 对链路服务消息的字段进行解析。

字段/位序	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Head	Proto									Version				Pv	Priority			Command Sequence												Retry		
	Source NT													RI	SAST		Command=0xF				Frame Index											
	Destination NT=0xFFFFE													SA=0xFFFF																		
	Payload Length													Flags				Response Code														
Payload[04:01]	PortNo									Role					NT Address																	
Payload[04:01]	RSVD																															
FCS	Frame Check Sequence																															

图 26 链路服务消息格式定义

表 23 链路服务消息字段说明

序号	字段名称/位置	名称/取值	说明
1	Head.Proto	固定值	0x59
2	Head.Version	固定值	版本为 1
3	Head.Pv	固定值	1

序号	字段名称/位置	名称/取值	说明
4	Head. Pri	调度类型确定	优先级为 0
5	Head. CSeq	固定值	默认为 0
6	Head. Retry	重传	支持重传
7	Head. SNT	NT 地址	本地 NT 地址
8	Head. RI	帧类型标识	命令帧=0；响应帧=1；
9	Head. SA	0x3	Fixed 服务类型
10	Head. CMD	0xF	mLS 命令为 0xF
11	Head. FIDX	0x0	MLS 不支持多帧
12	Head. DNT	0xhFFFE	目标查询 NT 地址
13	Head. SA	0xFFFF	固定为 0xFFFF 子地址
14	Head. PLen	8	8 字节的负载
15	Head. Flags	0x0	Flags=0x0
16	Head. RC	0x0	RC=0x0
17	Payload[02:01]	NT Address	本地 NT 地址
18	Payload[03:03]	角色	=0x0, NC；=0x1, NT, 0x2, NSW；=0x3, 多 NT 仿真终端
19	Payload[04:03]	Vector BitMap	比特映射的矢量字

7.4.3 链路服务消息 (0xF)

链路服务消息流程如图 27 所示。该消息属于 LLC 数据链路层消息，由各类终端在链路服务层发送并终结，NC、NT 无需向网络层传输，NSW 无需进行 mLS 帧交换。

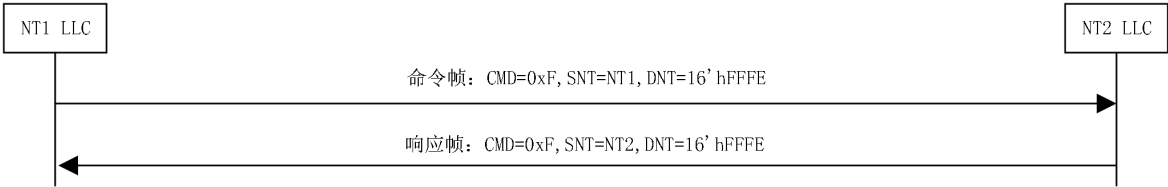


图 27 链路服务消息流程示意图

7.4.4 链路服务信息

链路服务消息用于实现物理链路连接终端的地址信息和角色信息交换，通过记录对端终端信息，可借助网络管理获取全网设备连接关系，从而获取网络拓扑结构。

7.5 消息唯一性

7.5.1 消息唯一性标识

传输层通过消息唯一标识 (UMID, Unique Message Indicator) 实现帧的唯一性识别，UMID 由表 24 所示字段组成：

表 24 UMID 组成

序号	字段	简称	位宽	备注
1	Command Sequence	CSeq	14	消息的顺序序号，一定时间内唯一性
2	Source NT	SNT	16	源 NT 地址
3	Response Indicator	RI	1	0 为命令帧，1 为响应帧
4	Command	CMD	5	区分不同命令类型
5	Frame Index	FIDX	8	标识消息内的多帧序列顺序

7.5.2 消息去冗余

终端应具备基于 UMID 的消息去冗余处理能力，具体规则如下：

- a) 冗余检测：接收端记录已处理消息的 UMID，当接收到新消息时，将其 UMID 与历史记录比对；
- b) 重复处理：若 UMID 与历史记录重复，判定为冗余消息，仅首次接收到的消息上传至应用层；
- c) 时效性管理：UMID 记录需附加时间戳，超过老化时间（默认 10 秒）的记录自动失效。

本机制确保重传或冗余消息仅被处理一次，避免应用层重复接收数据，提升网络传输效率。

8 传输层

8.1 网络调度

8.1.1 网络角色

同步交换网络 iRAX 的角色如表 25 所示：

表 25 网络角色定义

序号	名称	缩略语	中文名称	功能
1	Network Controller	NC	网络控制器	网络调度控制器，控制网络的周期调度、发送网络消息命令
2	Network Terminal	NT	网络终端	在网络控制器下进行数据的接收和发送等操作
3	Network Monitor	NM	网络监视器	承担网络的监视

8.1.2 网络基本周期

同步交换网络 iRAX 支持周期化通信，网络基本周期可在 100 μs 至 10s 范围内配置。NC 通过发送 mSOH 消息控制基本周期，相邻两个 mSOH 消息的时间间隔即为配置的周期时长。

8.1.3 网络调度

8.1.3.1 网络调度方式

网络调度方式在基本周期内的时序分布如图 28 所示，展示了不同优先级调度类型在时间轴上的执行顺序与阶段划分。

表 26 网络调度方式定义

序号	调度类型	缩略语	英文名称
1	周期高优先级	PH	Period High Priority
2	周期低优先级	PL	Period Low Priority
3	非周期高优先级	NPH	Non-Period High Priority
4	非周期低优先级	NPL	Non-Period Low Priority
5	直传调度	DT	Direct Transmit

8.1.3.2 网络调度时序

8.1.3.2.1 调度时序图

图 28 所示为四种网络调度方式在基本周期时间轴上的调度方法。

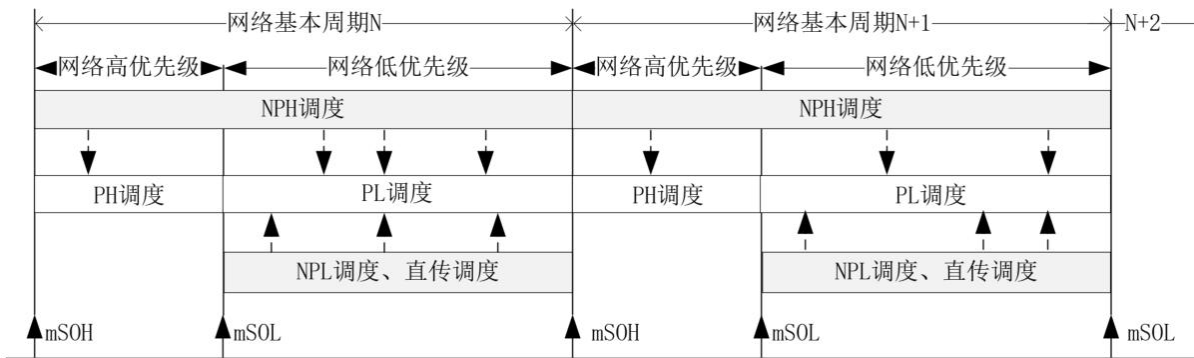


图 28 调度时序示意图

8.1.3.2.2 网络基本周期控制

NC 通过广播 mSOH 消息触发网络基本周期的起始，该消息用于同步全网终端的周期时序，相邻 mSOH 消息的时间间隔即为配置的基本周期时长。

8.1.3.2.3 网络高优先级阶段

当 NC 发送 mSOH 消息后，网络进入高优先级阶段，此阶段仅允许执行优先级 ≥ 3 调度类型。

8.1.3.2.4 网络低优先级阶段

NC 完成 PH 调度表执行后，通过广播 mSOL 消息启动低优先级阶段，此阶段允许执行优先级 ≤ 3 的调度类型(包括 PL、NPH、NPL、DT)。

8.1.3.2.5 周期高优先级调度 (PH)

- a) 执行主体：NC 依据 PH 调度表发起；
- b) 优先级：4；
- c) 时序控制：PH 调度结束后，NC 发送 mSOL 消息切换至低优先级阶段。

8.1.3.2.6 非周期高优先级调度 (NPH)

- a) 执行条件：
 - 1) 网络基本周期内；

- 2) 前一消息执行完毕;
- 3) 满足周期保护带时间要求;
- b) 优先级: 5;
- c) 触发机制: NC 实时检测条件满足后立即发起。

8.1.3.2.7 周期低优先级调度 (PL)

- a) 执行主体: NC 依据 PL 调度表发起;
- b) 优先级: 1;
- c) 时序范围: 仅在低优先级阶段内执行。

8.1.3.2.8 非周期低优先级调度 (NPL)

- a) 执行条件:
 - 1) 处于网络低优先级阶段;
 - 2) 前一消息执行完毕;
 - 3) 满足周期保护带时间要求;
- b) 优先级: 2;
- c) 触发机制: NC 检测条件满足后立即发起。

8.1.3.2.9 直传调度 (DT)

- a) 执行主体: NT 自主发起;
- b) 优先级: 0;
- c) 时序限制: 仅允许在低优先级阶段内执行, 且需遵守周期保护带要求。

8.1.4 单周期消息与多周期消息

基本周期是网络定义的最小时间周期单位, 所有消息的执行均为基本周期的整数倍。
单周期消息: 配置为每个基本周期执行一次的消息。图 29 所示为单周期执行示意图。

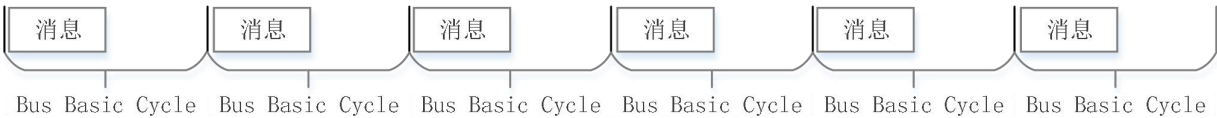


图 29 单周期消息示意图

多周期消息: 配置为每 N 倍基本周期 (N>1) 执行一次的消息。图 30 所示为单周期执行示意图。

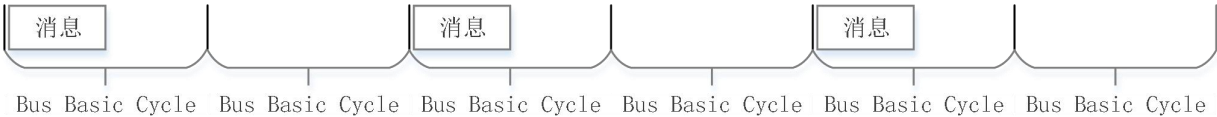


图 30 双周期消息示意图

8.1.5 消息相位

消息在完整周期(单周期或多周期)内的起始周期位置。通过配置起始周期实现消息分散调度, 避免多消息周期冲突导致空周期或执行不完全。

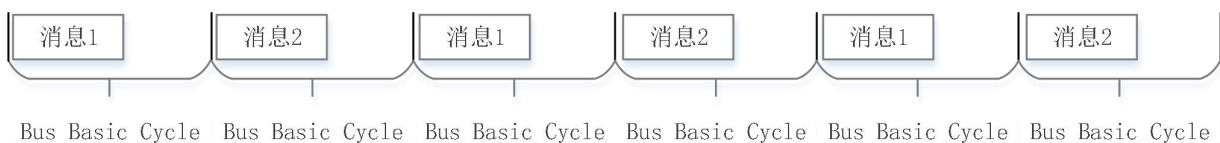


图 31 多相位消息示意图

示例(图 31):
消息 1: 多周期=2, 相位=1(第 1 个基本周期起始);
消息 2: 多周期=2, 相位=2(第 2 个基本周期起始)。

8.1.6 动态带宽管理

8.1.6.1 动态带宽实现基础

图 32 所示,动态带宽管理是通过周期低优先级 (PL) 调度消息的周期内循环执行及矢量字查询 (mVWQ) 机制实现基本周期剩余带宽分配的方法。



图 32 动态带宽管理示意图

8.1.6.2 矢量字查询 (mVWQ) 机制

消息结构: mVWQ 消息包含目标 NT 终端的子地址 (SA) 查询列表;
触发条件: 当查询到 SA 子地址存在待发送数据时, NC 按预编辑的调度表发起 NT 终端数据传输;
异常处理: 若 SA 子地址无数据, NC 继续查询后续地址或终止访问。

8.1.6.3 周期低优先级 (PL) 调度循环机制

配置要求: PL 调度表支持周期内循环执行配置;
执行条件: NC 启用 PL 循环模式且当前网络剩余时间满足周期保护带要求时, 启动循环调度;
时序控制: 循环执行过程中, 每轮调度需确保下一轮周期起始前预留足够保护带时间。

8.1.6.4 带宽分配流程

- a) NC 通过 mVWQ 消息查询 NT 终端 SA 缓冲区状态;
- b) 命中待发送数据的 SA 终端, 按预调度表执行数据传输;
- c) 完成高优先级调度后, 启用 PL 循环模式填充剩余带宽;
- d) 每轮 PL 调度前校验剩余时间是否满足保护带要求, 不满足则终止循环。

8.2 网络运行

8.2.1 网络基本周期控制与网络高优先级阶段

8.2.1.1 mSOH 消息格式

网络基本周期控制与高优先级起始通过 NC 发送 mSOH 广播消息实现, 消息格式如图 33 所示。该消息为传输层消息, 负载长度 (Head. PLen) 为 16 字节, 字段定义如表 27 所示:

字段/位序	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Head	Proto								Version				0	Pri = 7			Command Sequence												Retry			
	Source NT = NC															0	Fixed		Command=0xA				Frame Index=0									
	Destination NT = 0xFFFF															SA=0xFFFFF																
	Payload Length=16															Flags = 0x4				Response Code = 0x0												
Payload[04:01]	Network Basic Cycle[31:0]-总线基本周期，单位1us/0.5us																															
Payload[08:05]	Network Basic Cycle Remaining Time[31:0]-当前总线基本周期剩余时间，单位1us/0.5us																															
Payload[12:09]	Cycle Count[63:32]-当前总线周期计数器																															
Payload[16:13]	Cycle Count[31:00]-当前总线周期计数器																															
FCS	Frame Check Sequence																															

图 33 mSOH 消息格式

表 27 mSOH 消息字段说明

序号	字段名称/位置	取值	说明
1	Head.Proto	固定值	0x59
2	Head.Version	固定值	版本为 1
3	Head.Pv	0	广播
4	Head.Pri	7	mSOH 具有最高优先级
5	Head.CSeq	NC 管理	
6	Head.Retry	0	mSOH 不支持重传
7	Head.SNT	NC 地址	
8	Head.RI	0	命令帧
9	Head.SA	0x3	Fixed 服务类型
10	Head.CMD	0xA	mSOH 命令为 0xA
11	Head.FIDX	0x0	mSOH 命令不支持多帧序列
12	Head.DNT	0xFFFF	mSOH 为广播消息

表 27 mSOH消息字段说明(续)

序号	字段名称/位置	取值	说明
13	Head. SA	0xFFFF	mSOH 为广播子地址，默认接收
14	Head. PLen	16	24 字节的负载
15	Head. Flags	0x04	Flags. NR=1，免响应
16	Head. RC	0x0	RC=0x0
17	Payload[04:01]	Network Basic Cycle	当前网络基本周期配置值, 单位为 Unit 表示的值
18	Payload[08:05]	Network Basic Cycle Remaining Time	当前网络周期剩余时间，单位为 Unit 表示的值
19	Payload[16:09]	Network Cycle Count	网络周期执行计数

8.2.1.2 消息处理机制

NT 终端接收 mSOH 广播消息后，解析以下关键信息并更新本地寄存器：

- a) 网络基本周期配置值(Network Basic Cycle)；
- b) NC 地址(Head. SNT)；
- c) 周期单位(Unit)及剩余时间(Network Basic Cycle Remaining Time)。
- d) 上述信息用于后续通信的时序控制与调度同步。

8.2.2 网络低优先级阶段

8.2.2.1 mSOL 消息格式

网络低优先级起始通过网络控制器(NC)发送 mSOL 广播消息实现，该消息用于标识网络周期内低优先级阶段的开始，NT 终端通过解析该消息获取网络时序信息，以约束直传调度的发起时机。

mSOL 消息为传输层消息，首部负载长度(Head. PLen)为 16 字节，消息格式符合图 34 所示结构：

字段/位序	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	
Head	Proto								Version				0	Pri = 6				Command Sequence												Retry			
	Source NT = NC																0	Fixed				Command=0xB				Frame Index=0							
	Destination NT = 10xFFFF																SA=0xFFFFF																
	Payload Length=16																Flags = 0x4						Response Code = 0x0										
Payload[04:01]	Network Basic Cycle[31:0]-总线基本周期，单位1us/0.5us																																
Payload[08:05]	Network Basic Cycle Remaining Time[31:0]-当前总线基本周期剩余时间，单位1us/0.5us																																
Payload[12:09]	Cycle Count[63:32]-当前总线周期计数器																																
Payload[16:13]	Cycle Count[31:-0]-当前总线周期计数器																																
FCS	Frame Check Sequence																																

图 34 mSOL 消息格式

mSOL 消息是传输层消息，Head. PLen=16 字节，字段解析如表 28 所示：

表 28 mSOL 消息字段说明

序号	字段名称/位置	取值	说明
1	Head. Proto	默认值	0x59
2	Head. Version	默认值	版本为 1

表 28 mSOL消息字段说明(续)

序号	字段名称/位置	取值	说明
3	Head. Pv	默认值	
4	Head. Pri	6	mSOL 具有次高优先级
5	Head. CSeq	NC 管理	
6	Head. Retry	0	mSOL 不支持重传
7	Head. SNT	NC 地址	
8	Head. RI	0	命令帧
9	Head. SA	0x3	Fixed 服务类型
10	Head. CMD	0xB	mSOL 命令为 0xB
11	Head. FIDX	0x0	mSOL 命令不支持多帧序列
12	Head. DNT	0xFFFF	mSOL 为广播消息
13	Head. SA	0xFFFF	mSOL 为广播子地址，默认接收
14	Head. PLen	16	16 字节的负载
15	Head. Flags	0x04	Flags.NR=1，免响应
16	Head. RC	0x0	RC=0x0
17	Payload[04:01]	Network Basic Cycle	当前网络基本周期配置值, 单位为 Unit 表示的值
18	Payload[08:05]	Network Basic Cycle Remaining Time	当前网络周期剩余时间，单位为 Unit 表示的值
19	Payload[16:09]	Network Cycle Count	网络周期执行计数

8.2.2.2 消息处理机制

- a) NC 发送广播：NC 按网络调度周期发送 mSOL 广播消息，消息中携带当前网络基本周期配置 (Network Basic Cycle)、剩余时间 (Network Basic Cycle Remaining Time) 等时序参数。
- b) NT 终端接收解析：NT 终端接收到消息后，执行以下操作：
 - 1) 提取 Network Basic Cycle Remaining Time 字段，获取当前周期剩余时间；
 - 2) 更新本地时序寄存器，用于直传调度的时间约束 (如直传调度需在周期剩余时间内完成)；
- c) 直传调度约束：NT 发起直传调度时，需满足以下条件：
 - 1) 直传消息传输耗时 ≤ Network Basic Cycle Remaining Time；
 - 2) 遵循网络保护带要求，确保不影响下一周期 mSOH 消息的发送。

8.2.3 网络保护带

网络保护带是指在当前网络基本周期结束前，为确保下一周期起始消息 (mSOH) 能准时广播而预留的静默时间窗口。作为同步交换网络 iRAX 时序管理的核心保障机制，该时间片段需满足以下要求：

- a) 时序保障：需确保 mSOH 消息在新周期起始时刻前完成全网广播，避免因传输延迟导致时序混

乱；

- b) 静默约束：保护带期间，网络各终端应停止非必要数据传输，确保 mSOH 消息的传输优先级与实时性。

这一机制通过严格划分时间片段，保障了网络基本周期的完整性和时序同步精度，是同步交换网络 iRAX 实现确定性调度的关键环节。

8.2.4 矢量字查询 mVWQ

8.2.4.1 概述

mVWQ(矢量字查询)消息用于查询目标 NT 终端的子地址(SA)缓冲区队列是否存在待发送数据，其中“矢量字”指通过比特映射标识队列状态的二进制序列。该消息由 NC(网络控制器)发起，目标 NT 终端响应，采用双向负载传输机制。

8.2.4.2 矢量字 mVWQ 消息命令

mVWQ 命令帧格式符合图 35 所示结构，字段解析如表 29 所示：

字段/位序	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	
Head	Proto								Version				Pv	Pri			Command Sequence																Retry
	Source NT															0	Fixed		Command=0xE					Frame Index=0									
	Destination NT															SA = 0xFFFF																	
	Payload Length=4															Flags = 0					Response Code = 0												
Payload[04:01]	Start SA															Bit Mask																	
FCS	Frame Check Sequence																																

图 35 mVWQ 命令帧格式

表 29 mVWQ 命令帧字段说明

序号	字段名称/位置	取值	说明
1	Head.Proto	默认值	0x59
2	Head.Version	默认值	版本为 1
3	Head.Pv	默认值	0
4	Head.Pri	调度类型确定	NPH 调度优先级为 5 PH 调度优先级为 4 NPL 调度优先级为 2 PL 调度优先级为 1
5	Head.CSeq	NC 管理	
6	Head.Retry	重传	支持重传
7	Head.SNT	NC 地址	
8	Head.RI	0	命令帧
9	Head.SA	0x3	Fixed 服务类型
10	Head.CMD	0xE	mVWQ 命令为 0xE

表 29 mVWQ命令帧字段说明 (续)

序号	字段名称/位置	取值	说明
11	Head. FIDX	0x0	mVWQ 不支持多帧序列
12	Head. DNT	NT Address	目标查询 NT 地址
13	Head. SA	0xFFFF	mVWQ 为广播子地址，默认接收
14	Head. PLen	4	4 字节的负载
15	Head. Flags	0x0	Flags=0x0
16	Head. RC	0x0	RC=0x0
17	Payload[02:01]	Bit Mask	子地址比特映射掩码
18	Payload[04:03]	Start SA	查询的目标 NT 的起始 SA

8.2.4.3 查询机制与规则

8.2.4.3.1 查询范围

NC 通过命令帧可查询连续 16 个 SA 地址，由以下字段控制：

- a) Start SA(Payload[04:03])：指定查询的首个 SA 地址(如 0x1000)；
- b) Bit Mask(Payload[02:01])：16 位二进制掩码，每比特对应一个 SA(如 Bit Mask[0]对应 Start SA，Bit Mask[1]对应 Start SA+1，依此类推)。

8.2.4.3.2 查询逻辑

- a) 若 BitMap 某比特位为 1，则查询对应 SA 是否有待发送数据；
- b) 若为 0，则跳过该 SA 查询。

示例：

Start SA=0x1000，BitMap=0x0001(二进制 0000000000000001)，表示仅查询 SA=0x1000。

8.2.4.4 矢量字 mVWQ 消息响应

mVWQ 响应帧格式符合图 36 所示，字段解析如表 30 所示。

字段/位序	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Head	Proto									Version				Pv	Pri	Command Sequence												Retry				
	Source NT														1	Fixed	Command=0xE				Frame Index=0											
	Destination NT														SA = 0xFFFF																	
	Payload Length=4														Flags = 0				Response Code = 0													
Payload[04:01]	Start SA														Vector Bit Map																	
FCS	Frame Check Sequence																															

图 36 mVWQ 响应帧格式

表 30 mVWQ 响应帧字段说明

序号	字段名称/位置	取值	说明
1	Head. Proto	默认值	0x59
2	Head. Version	默认值	版本为 1

表 30 mVWQ响应帧字段说明 (续)

序号	字段名称/位置	取值	说明
3	Head. Pv	默认值	0
4	Head. Pri	调度类型确定	NPH 调度优先级为 5 PH 调度优先级为 4 NPL 调度优先级为 2 PL 调度优先级为 1
5	Head. CSeq	NC 管理	
6	Head. Retry	重传	支持重传
7	Head. SNT	NC 地址	
8	Head. RI	0	命令帧
9	Head. SA	0x3	Fixed 服务类型
10	Head. CMD	0xC	mVWQ 命令为 0xE
11	Head. FIDX	0x0	mVWQ 命令不支持多帧序列
12	Head. DNT	NT Address	目标查询 NT 地址
13	Head. SA	0xFFFF	mVWQ 为广播子地址，默认接收
14	Head. PLen	4	4 字节的负载
15	Head. Flags	0x0	Flags=0x0
16	Head. RC	0x0	RC=0x0
17	Payload[04:03]	Start SA	查询的目标 NT 的起始 SA
18	Payload[04:03]	Vector Bit Map	比特映射的矢量字

8.2.4.5 查询流程与动态带宽管理

8.2.4.5.1 协议栈处理

- a) NT 接收到命令帧后，快速检索 SA 队列状态，生成 Vector BitMap 响应；
- b) 若某 SA 有待发送数据，对应比特位设为 1，否则设为 0。

8.2.4.5.2 NC 调度逻辑

- a) NC 根据 Vector BitMap 中为 1 的比特位，跳转至网络调度表中对应的消息条目；
- b) 结合 PL(周期低优先级)调度的循环机制，实现动态带宽分配。

8.2.4.5.3 应用场景

该机制通过“查询-响应-调度”闭环，使网络资源优先分配至有数据待发送的 SA，提升带宽利用率与实时性。

9 应用层

9.1 时间同步与延迟测量

9.1.1 报文格式要求

9.1.1.1 时间同步报文格式

时间同步命令报文格式如图 37 所示：

字段/位序	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0		
Head	Proto								Version				Pv	Priority			Command Sequence																Retry	
	Source NT														RI	Fixed		Command=0xC						Frame Index										
	Destination NT														SA = 0xFFFF																			
	Payload Length=440														Flags						Response Code													
Payload[04:01]															T1_TimeStamp[63:32]																			
Payload[08:05]															T1_TimeStamp[31: 0]																			
Payload[12:09]															T2_TimeStamp[63:32]																			
Payload[16:13]															T2_TimeStamp[31: 0]																			
Payload[20:17]															T3_TimeStamp[63:32]																			
Payload[24:21]															T3_TimeStamp[31: 0]																			
Payload[28:25]															T4_TimeStamp[63:32]																			
Payload[32:29]															T4_TimeStamp[31: 0]																			
Payload[36:33]															NSW Receive Count[63:32]																			
Payload[40:37]															NSW Receive Count[31: 0]																			
Payload[44:41]															RTT																			
Payload[48:45]	Req Correct Field														Resp Correct Field																			
Payload[52:49]															延迟测量识别码0x289E_0059																			
Payload[56:53]															Location Mask																			
Payload[60:57]	保留								L0_PortNumber								L0_NT																	
Payload[64:61]															L0_TimeStamp[63:32]																			
Payload[68:65]															L0_TimeStamp[31: 0]																			
Payload[72:69]	保留								L1_PortNumber								L1_NT																	
Payload[76:73]															L1_TimeStamp[63:32]																			
Payload[80:77]															L1_TimeStamp[31: 0]																			
Payload[N:N-4]																																		
																																		
Payload[442:439]	保留								L31_PortNumber								L31_NT																	
Payload[436:433]															L31_TimeStamp[63:32]																			
Payload[440:437]															L31_TimeStamp[31: 0]																			
FCS															Frame Check Sequence																			

图 37 时间同步命令报文格式

9.1.1.2 mTS 消息报文头映射

表 31 所示为 mTS 消息报文头字段要求。

表 31 mTS 报文字段说明

序号	字段名称/位置	取值	说明
1	Head.Proto	默认值	0x59
2	Head.Version	默认值	版本为 1
3	Head.Pv	默认值	软件配置
4	Head.Pri	调度类型确定	NPH 调度优先级为 5 PH 调度优先级为 4 NPL 调度优先级为 2

序号	字段名称/位置	取值	说明
			PL 调度优先级为 1

表 31 mTS报文字段说明(续)

序号	字段名称/位置	取值	说明
5	Head. CSeq	NC 管理	
6	Head. Retry	重传	支持重传
7	Head. SNT	Master 终端地址	
8	Head. RI	帧类型	命令帧=0；响应帧=1
9	Head. SA	0x3	Fixed 服务类型
10	Head. CMD	0xC	mTS 命令为 0xC
11	Head. FIDX	0x0	单帧
12	Head. DNT	同步 Slave 终端地址	
13	Head. SA	0xFFFF	
14	Head. PLen	440	440 字节的负载
15	Head. Flags	单帧	与 Flgas 要求一致
16	Head. RC		RC=0x0

9.1.1.3 mTS 负载时间同步部分

mTS 负载包含由两部分组成，表 32 为时间同步负载部分。

表 32 mTS 时间同步负载字段说明

序号	字段名称/位置	内容	说明
1	Payload[04:01]	T1_TimeStamp[63:32]	NC 发送 mTS 命令帧的 NC 时间高 32 位
2	Payload[08:04]	T1_TimeStamp[31: 0]	NC 发送 mTS 命令帧的 NC 时间低 32 位
3	Payload[12:09]	T2_TimeStamp[63:32]	NT 接收 mTS 命令帧的 NT 时间高 32 位
4	Payload[16:13]	T2_TimeStamp[31: 0]	NT 接收 mTS 命令帧的 NT 时间低 32 位
5	Payload[20:17]	T3_TimeStamp[63:32]	NT 发送 mTS 响应帧的 NT 时间高 32 位
6	Payload[24:20]	T3_TimeStamp[31: 0]	NT 发送 mTS 响应帧的 NT 时间低 32 位
7	Payload[28:25]	T4_TimeStamp[63:32]	NC 接收 mTS 响应帧的 NC 时间高 32 位
8	Payload[32:29]	T4_TimeStamp[31: 0]	NC 接收 mTS 响应帧的 NC 时间低 32 位
9	Payload[36:33]	NSW Receive Count[63:32]	网络交换 MAC 接收端计数值高 32 位
10	Payload[40:37]	NSW Receive Count[31: 0]	网络交换 MAC 接收端计数值低 32 位
11	Payload[44:41]	RTT[31:0]	往返延迟
12	Payload[46:45]	Resp Correct Field	响应帧网络交换校正值
13	Payload[48:47]	Rep Correct Field	请求帧网络交换校正值

9.1.1.4 mTS 负载延迟测量部分

表 33 为 mTS 负载延迟测量部分。

表 33 mTS 延迟测量负载字段说明

序号	字段名称/位置	名称/内容	说明
1	Payload[52:49]	延迟测量识别码 0x289E0059	固定数，延迟测量识别码
2	Payload[56:53]	位置掩码 Location Mask	位置掩码 32 个比特映射的 32 个延迟测量位置，比特 0 映射 L0，依次类推
3	Payload[58:57]	NT 终端地址	L0 位置 NT 终端地址
4	Payload[59:59]	NT 物理端口编号	L0 位置 NT 终端物理端口编号
5	Payload[60:60]	RSVD	保留
6	Payload[64:61]	L0_TimeStamp[63:32]	L1 位置 NT 终端本地的时间戳计数
7	Payload[68:65]	L0_TimeStamp[31: 0]	
8	Payload[70:69]	NT 终端地址	L1 位置 NT 终端地址
9	Payload[71:71]	NT 物理端口编号	L1 位置 NT 终端物理端口编号
10	Payload[72:72]	RSVD	保留
11	Payload[76:73]	L1_TimeStamp[63:32]	L1 位置 NT 终端本地的时间戳计数
12	Payload[80:77]	L1_TimeStamp[31: 0]	
13	Payload[[n*12+58]:[n*12+57]]	位置 NT 终端地址	
14	Payload[[n*12+59]:[n*12+59]]	NT 物理端口编号	
15	Payload[[n*12+60]:[n*12+60]]	RSVD	Ln 位置 NT 终端地址
16	Payload[[n*12+64]:[n*12+61]]	Ln_TimeStamp[63:32]	Ln 位置 NT 终端物理端口编号
17	Payload[[n*12+68]:[n*12+65]]	Ln_TimeStamp[31: 0]	
18	Payload[439:439]	L32_TimeStamp[63:32]	L32 位置 NT 终端地址
19	Payload[430:430]	L32_TimeStamp[31: 0]	L32 位置 NT 终端物理端口编号
20	Payload[432:431]	位置 NT 终端地址	保留
21	Payload[436:433]	NT 物理端口编号	L32 位置 NT 终端本地的时间戳计数
22	Payload[440:437]	RSVD	

9.1.2 时间同步过程

9.1.2.1 时间同步角色

同步交换网络 iRAX 采用主从式时间同步方法，其中主终端定义为时间同步主设备 (TimeSync Master)，从终端定义为时间同步从设备 (TimeSync Slave)。

9.1.2.2 时间同步流程规范

时间同步过程如图 38 所示：

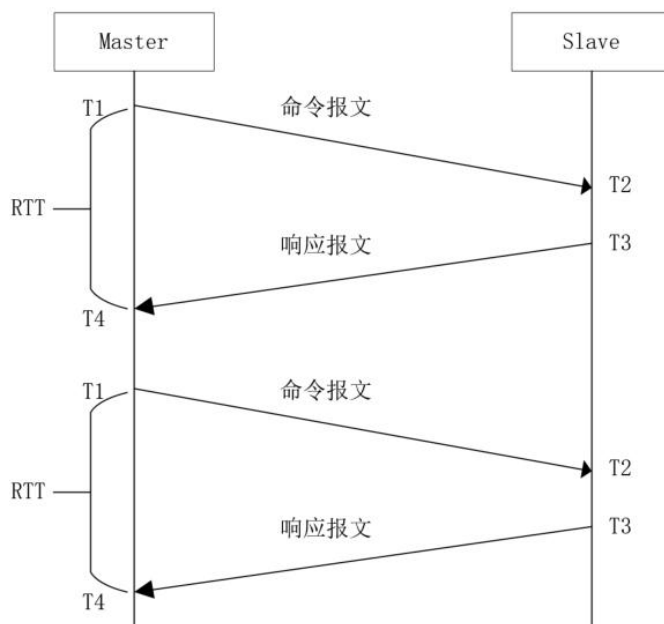


图 38 时间同步流程示意图

时间同步通过 mTS 消息交互实现，具体流程应遵循以下步骤(图 38)：

- 主终端发起同步：主设备(TimeSync Master)发送 mTS 命令报文，需在报文负载字段精确记录并附加报文发送时刻 T1；
- 从终端接收处理：从设备(TimeSync Slave)接收 mTS 命令报文，记录报文接收时刻 T2；
- 从终端响应反馈：从设备(TimeSync Slave)发送响应报文，需将已记录的接收时刻 T2，以及响应报文的发送时刻 T3，同步附加至响应报文负载字段；
- 主终端完成同步：主设备(TimeSync Master)接收响应报文，记录报文接收时刻 T4，完成一轮时间同步交互。

9.1.3 延迟测量过程

9.1.3.1 测量原理

延迟测量基于时间同步往返过程及 mTS 报文负载实现，需记录报文途经所有媒体终端的终端地址(NT)、物理端口及时间戳，通过计算获取报文终端转发延迟等信息。测量流程如图 39 所示。

9.1.3.2 报文处理流程

延迟测量流程如图 39 所示：

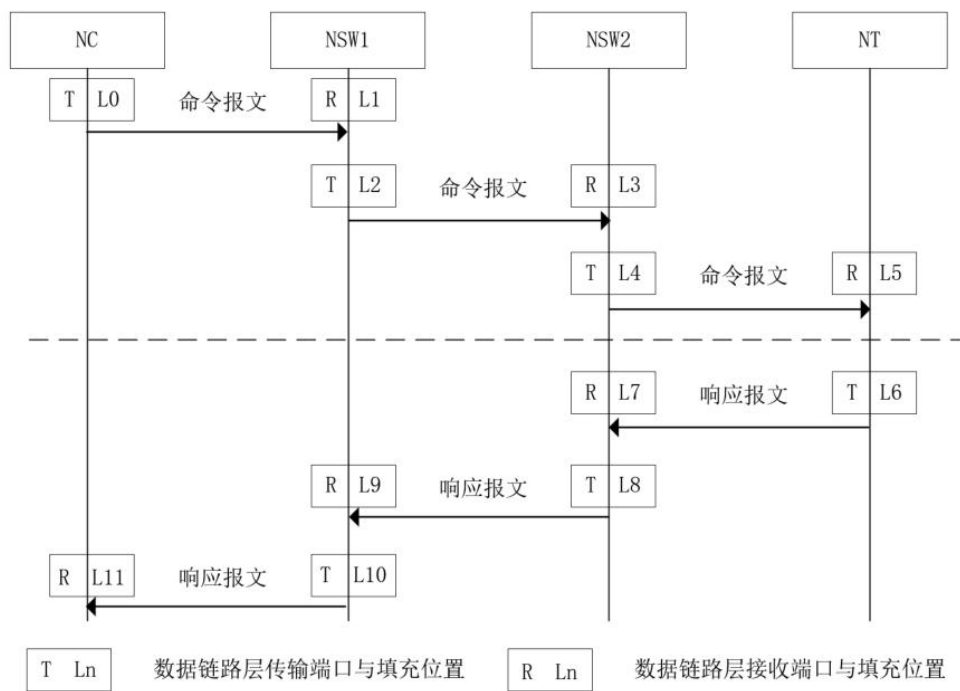


图 39 延迟测量流程示意图

当报文通过数据链路层传输端口发送或接收时，应按以下步骤执行：

- a) 识别码校验：判断报文长度，并依据长度检索延迟测量识别码 0x289E0059；
- b) 位置掩码解析：解析位置掩码，定位首个非 0 值的 L_n 位置，该位置为当前端口需添加延迟测量信息的插入点；
- c) 报文信息注入：按掩码映射位置修改报文，添加包含终端地址、物理端口及时间戳的延迟测量信息；
- d) 校验值重计算：重新计算帧校验序列 (FCS)，确保报文校验正确。

9.1.3.3 测量点限制

延迟测量最多支持 32 个 L_n 位置点，超过 32 个位置点的物理端口不参与延迟测量，且需满足以下要求：

- a) 单个报文的延迟测量信息总长度不得超过 MTU(最大传输单元)限制；
- b) 位置掩码的位宽应与支持的 L_n 点数一致

9.1.4 终端操作流程

9.1.4.1 时间同步主设备 (TimeSync Master)

NC 应按调度表配置生成 mTS 消息，构造命令报文时需：

- a) 置位往返时间 (RTT) 字段为有效状态；
- b) 其他字段按预留状态处理。

9.1.4.2 NC 数据链路层传输端口

报文经 NC 数据链路层传输端口时，应执行：

- a) 将 mTS 命令报文中的 T1 时间戳 (T1_TimeStamp) 更新为本地实时时间戳；
- b) 按延迟测量流程，修改对应 L_n 位置的延迟测量值。

9.1.4.3 NSW 数据链路层接收端口

报文到达 NSW 数据链路层接收端口时，应执行：

- a) 将 mTS 命令报文中的 NSW 接收计数(NSW_Receive_Count)更新为本地时间戳；
- b) 按延迟测量流程修改对应 Ln 位置的延迟测量值。

9.1.4.4 NSW 数据链路层发送端口

报文经交换机内部处理后，NSW 数据链路层发送端口应执行：

- a) 计算交换机延迟：用当前本地时间戳减去 NSW_Receive_Count；
- b) 将计算结果与响应校正字段(Resp Correct Field)值相加，更新至 Resp Correct Field；
- c) 按延迟测量流程修改对应 Ln 位置的延迟测量值；
- d) 重新计算循环冗余校验(FCS)值；
- e) 多级交换场景下，重复上述 NSW 数据链路层接收与发送端口处理流程。

9.1.4.5 NT 数据链路层接收端口

报文到达 NT 数据链路层接收端口时，应执行：

- a) 将 mTS 命令报文中的 T2 时间戳(T2_TimeStamp)更新为本地时间戳；
- b) 按延迟测量流程修改对应 Ln 位置的延迟测量值。

9.1.4.6 时间同步从设备(TimeSync Slave)

NT 应执行以下操作：

- a) 提取命令报文中的 T1_TimeStamp、T2_TimeStamp 及 Resp Correct Field；
- b) 进行时钟同步计算与差值(DIFF)计算；
- c) 构造 mTS 响应报文，处理要求如下：
 - 1) 填充 DIFF 计算结果；
 - 2) 将命令报文的 T1_TimeStamp、T2_TimeStamp 复制到响应报文对应字段；
 - 3) 将命令报文的 Resp Correct Field 复制到响应报文的请求校正字段(Req Correct Field)；
 - 4) 复制命令报文的延迟测量字段至响应报文相同位置。

9.1.4.7 NT 数据链路层传输端口

响应报文经 NT 数据链路层传输端口时，应：

- a) 将 T3 时间戳(T3_TimeStamp)更新为本地时间戳；
- b) 按延迟测量流程修改对应 Ln 位置的延迟测量值。

9.1.4.8 NSW 数据链路层接收端口

响应报文到达 NSW 数据链路层接收端口时，应：

- a) 将 NSW_Receive_Count 更新为本地时间戳；
- b) 按延迟测量流程修改对应 Ln 位置的延迟测量值。

9.1.4.9 NSW 数据链路层发送端口

响应报文经交换机处理后，NSW 数据链路层发送端口应：

- a) 计算交换机延迟：当前本地时间戳减去 NSW_Receive_Count；

- b) 将计算结果与 Resp Correct Field 值相加，更新至 Resp Correct Field;
- c) 按延迟测量流程修改对应 Ln 位置的延迟测量值;
- d) 重新计算循环冗余校验 (FCS) 值;
- e) 多级交换场景下，重复 NSW 数据链路层接口处理流程。

9.1.4.10 NC 数据链路层接收端口

响应报文到达 NC 数据链路层接收端口时，应：

- a) 将 T4 时间戳(T4_TimeStamp)更新为本地时间戳;
- b) 按延迟测量流程修改对应 Ln 位置的延迟测量值;
- c) 重新计算帧校验序列 (FCS) 值。

9.1.4.11 时间同步主设备(TimeSync Master)

报文到达 NC 后，应执行：

- a) 提取报文中的 T1_TimeStamp、T2_TimeStamp、T3_TimeStamp、T4_TimeStamp、Req Correct Field、Resp Correct Field;
- b) 按以下算法计算目标 NT 的往返时间(RTT)：

$$RTT=(T4_TimeStamp-T1_TimeStamp)-(T3_TimeStamp-T2_TimeStamp)-Req_cf_field-Resp_cf_fiel$$

d

9.2 网络管理

9.2.1 网络管理过程

9.2.1.1 网络管理通用报文要求

同步交换网络 iRAX 的网络管理是通过 mSNMP 消息对终端的寄存器访问的过程。通用 mSNMP 消息格式要求如图 40 所示，表 34 所示为 mSNMP 报文字段说明：

字段/位序	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Head	Proto								Version				Pv	Pri		Command Sequence																Retry
	Source NT												RI	Fixed	Command=0xD				Frame Index=0													
	Destination NT												SA = 0xFFFF																			
	Payload Length												Flags				Response Code															
Payload[04:01]	SNMP Request/Response-ID												SNMP Command Number																			
Payload[08:05]	SNMP Identifier = 0x289E												SNMP Command				SNMP Response Code															
Payload[12:09]	Payload																															
Payload[16:13]																																
Payload[20:17]																																
Payload[24:21]																																
FCS	Frame Check Sequence																															

图 40 mSNMP 管理通用报文格式

表 34 mSNMP 报文字段说明

序号	字段名称/位置	取值	说明
1	Head. Proto	默认值	0x59
2	Head. Version	默认值	版本为 1
3	Head. Pv	调度确认	由调度类型确认
4	Head. Pri	调度类型确定	NPH 调度优先级为 5 PH 调度优先级为 4 NPL 调度优先级为 2 PL 调度优先级为 1
5	Head. CSeq	NC 管理	
6	Head. Retry	重传	支持重传
7	Head. SNT	NC 地址	
8	Head. RI	0/1	命令帧/响应帧
9	Head. SAST	0x3	Fixed 服务类型
10	Head. CMD	0xD	mSNMP 命令为 0xD
11	Head. FIDX	0x0	mSNMP 命令不支持多帧序列
12	Head. DNT	DNT 终端地址	mSNMP 不支持广播
13	Head. SA	0xFFFF	mSNMP 为固定 0xFFFF
14	Head. PLen	实际负载长度	44 字节的负载
15	Head. Flags	0x0	Flags=0x0
16	Head. RC	0x0	RC=0x0
17	SNMP Requeset/Response-ID	0~65535	用于 SNMP 管理访问的序列号，每个完整的 SNMP 管理命令执行完++
18	SNMP Command Number	0~(MTU-4)/8	单位：命令个数，每个命令占用 8 个字节 负载长度，不超过协议最大负载长度
19	SNMP Command	0b0000	Set_Request→mSNMP Command
		0b0001	Set_Response→mSNMP Response
		0b0010	Get_Reqeust→mSNMP Command
		0b0011	Get_Response→mSNMP Response
		0b0100	OpResult_Request→mSNMP Command
		0b0101	OpResult_Response→mSNMP Response
20	SNMP Identifier	0x289E	用于识别 SNMP 管理的数据字段有效，识别码不正确的 SNMP 报文将不对寄存器进行访问配置

表 34 mSNMP报文字段说明(续)

序号	字段名称/位置	取值	说明
21	SNMP Response Code	0x00	ROK
		0x81	Busy, 正在执行 Get/Set 命令, 接收到了新的 SNMP 管理命令, 这个命令将会被丢弃
		0x82	XERR, 协议错误, 重传帧的 SNMP ID/CSEQ 不匹配
		0x83	OpERR, 收到没有 Get/Set 前序命令的 OpResult 命令, SNMP 管理协议错误
		0x84	NoSupport, 收到不支持的 SNMP 管理命令
		0x85	Empty, OpResult Empty, 正在处理数据, 还没有处理完
		0x86	SNT Error, SNMP 管理命令碰撞, SNT 切换
		0x87	SNMP ID Error, ID Error 与正在处理的报文冲突

9.2.1.2 网络管理命令类型

一个 SNMP 管理包含三种命令，分别是：

- a) Get, Get 命令映射为远程寄存器读取，Get 命令用于发起寄存器写操作；
- b) Set, Set 命令映射为远程寄存器写入，Set 命令用于发起寄存器写操作；
- c) OpResult, OpResult 是获取 Get、Set 的结果。

9.2.2 寄存器写

9.2.2.1 寄存器写过程

9.2.2.1.1 寄存器写操作

寄存器写过程支持一个或多个组寄存器写同时下发，终端应支持寄存器写访问过程，并返回正确与异常操作的结果。

SNMP 管理寄存器写操作由 Set + OpResult 组成，其中 OpResult 操作可能包含多个，由 OpResult 命令的响应判断。

9.2.2.1.2 寄存写器流程

寄存器写过程流程如图 41 所示：

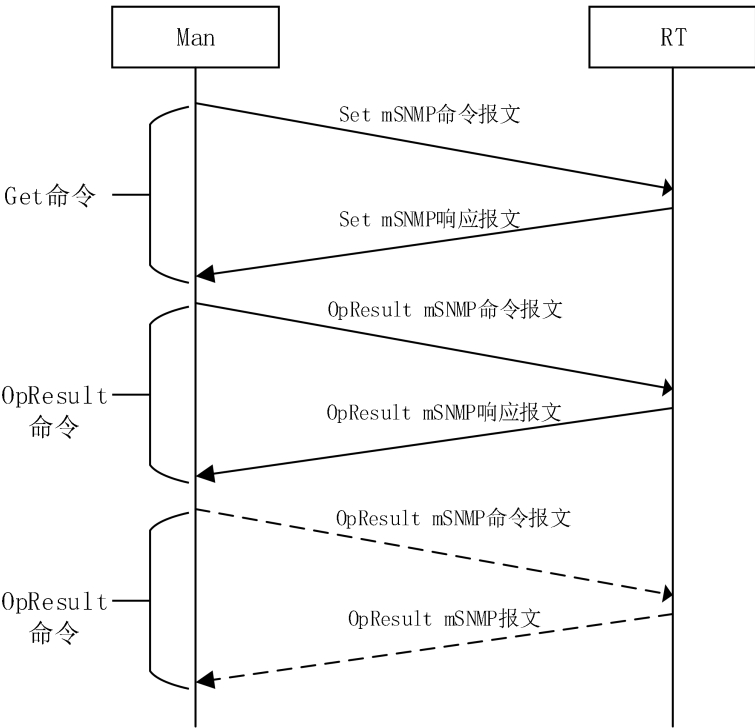


图 41 mSNMP 管理寄存器写过程示意图

寄存器写过程流程如下：

- a) SNMP 管理终端发送 Set Request-mSNMP 命令报文；
- b) NT 终端返回 Set Response-mSNMP 响应报文；
- c) SNMP 管理终端发送 OpResult Request -mSNMP 命令报文；
- d) NT 终端返回 OpResult Response-mSNMP 响应报文。

9.2.2.2 寄存器写 Set 过程

9.2.2.2.1 Set Request 负载要求

Set Request 是在 mSNMP 命令报文的负载中附加 Set Request 请求。

图 42 为 SNMP 管理 Set Request 映射为 mSNMP 消息命令报文的格式,表 35 是 Set Request 负载说明。

字段/位序	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Payload[04:01]	SNMP Request/Response-ID = 100 (示例)																SNMP Command Number = 2 (示例)															
Payload[08:05]	0x289E																Set Request								SNMP Response Code = 0x0							
Payload[12:09]	Address																															
Payload[16:13]	Data																															
Payload[20:17]	Address																															
Payload[24:21]	Data																															
FCS	Frame Check Sequence																															

图 42 Set Request 负载格式要求

表 35 Set Request 负载说明

序号	字段名称/位置	取值	说明
1	SNMP Requeset/Response-ID	0~65535	用于 SNMP 管理访问的序列号，每个完整的 SNMP 管理命令执行完++
2	SNMP Command Number	0~(MTU-4)/8	单位：命令个数，每个命令占用 8 个字节 负载长度，不超过协议最大负载长度
3	SNMP Command	0b0000	Set Request
4	SNMP Identifier	0x289E	固定值为 0x289E
5	SNMP Response Code	0x0	命令报文固定值为 0x0
6	Address	寄存器偏移量	需要配置写入的寄存器偏移量
7	Data	寄存器数据	需要配置写入的寄存器数据

9.2.2.2.2 Set Response 负载要求

Set Response 是在 mSNMP 响应报文的负载中附加 Set Response 响应负载。

图 43 为 SNMP 管理 Set Response 映射为 mSNMP 消息命令报文的格式,表 36 是 Set Request 负载说明。

字段/位序	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Payload[04:01]	SNMP Request/Response-ID = 100																SNMP Command Number = 0															
Payload[08:05]	0x289E																Set Response								SNMP Response Code							
FCS	Frame Check Sequence																															

图 43 Set Responset 负载格式要求

表 36 Set Response 负载说明

序号	字段名称/位置	取值	说明
1	SNMP Requeset/Response-ID	0~65535	与 Set 命令保持一致
2	SNMP Command Number	0	响应帧命令个数为 0
3	SNMP Command	0b0001	Set Response
4	SNMP Identifier	0x289E	固定值为 0x289E
5	SNMP Response Code	编码值	R0K 或其它响应码

9.2.2.3 寄存器写 OpResult 过程

9.2.2.3.1 OpResult Requeset 负载要求

OpResult Request 是在 mSNMP 命令报文的负载中附加 OpResult Request 请求。

图 44 为 SNMP 管理 OpResult Request 映射为 mSNMP 消息命令报文的格式,表 37 是 OpResult Request 负载说明。

字段/位序	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Payload[04:01]	SNMP Request/Response-ID = 100																SNMP Command Number = 0															
Payload[08:05]	0x289E																OpResult Request								0x0							
FCS	Frame Check Sequence																															

图 44 OpResult Request 负载格式要求

表 37 OpResult Request 负载说明

序号	字段名称/位置	取值	说明
1	SNMP Requeset/Response-ID	0~65535	前序 Set 命令帧的 ID
2	SNMP Command Number	0	Opresult 命令帧个数为 0
3	SNMP Command	0b0100	OpResult Request
4	SNMP Identifier	0x289E	固定值为 0x289E
5	SNMP Response Code	0x0	命令报文固定值为 0x0

9.2.2.3.2 OpResult Response 负载要求

OpResult Response 是在 mSNMP 响应报文的负载中附加 OpResult Response 响应负载。

图 45 为 SNMP 管理 OpResult Response 映射为 mSNMP 消息命令报文的格式,表 38 是 OpResult Response 负载说明。

字段/位序	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Payload[04:01]	SNMP Request/Response-ID = 100(示例)																SNMP Command Number = 2(示例)															
Payload[08:05]	0x289E																OpResult Response								SNMP Response Code							
Payload[12:09]	Address																															
Payload[16:13]	Data																															
Payload[20:17]	Address																															
Payload[24:21]	Data																															
FCS	Frame Check Sequence																															

图 45 OpResult Response 负载格式要求

表 38 OpResult Response 负载说明

序号	字段名称/位置	取值	说明
1	SNMP Requeset/Response-ID	0~65535	OpResult 命令帧的 ID, 与 Set 命令一致
2	SNMP Command Number	0~(MTU-4)/8	前序 Set 命令帧的命令数目
3	SNMP Command	0b0101	OpResult Response
4	SNMP Identifier	0x289E	固定值为 0x289E
5	SNMP Response Code	0x00	ROK 或其他状态
6	Address	寄存器偏移量	配置写入的寄存器偏移量
7	Data	寄存器数据	配置写入的寄存器数据返回

9.2.3 寄存器读

9.2.3.1 寄存器读过程

9.2.3.1.1 寄存器读操作

寄存器读过程支持一个或多组寄存器读同时下发，终端应支持寄存器读访问过程，并返回正确或异常操作的结果。

9.2.3.1.2 寄存器读流程

SNMP 管理寄存器读过程流程如图 46 所示：

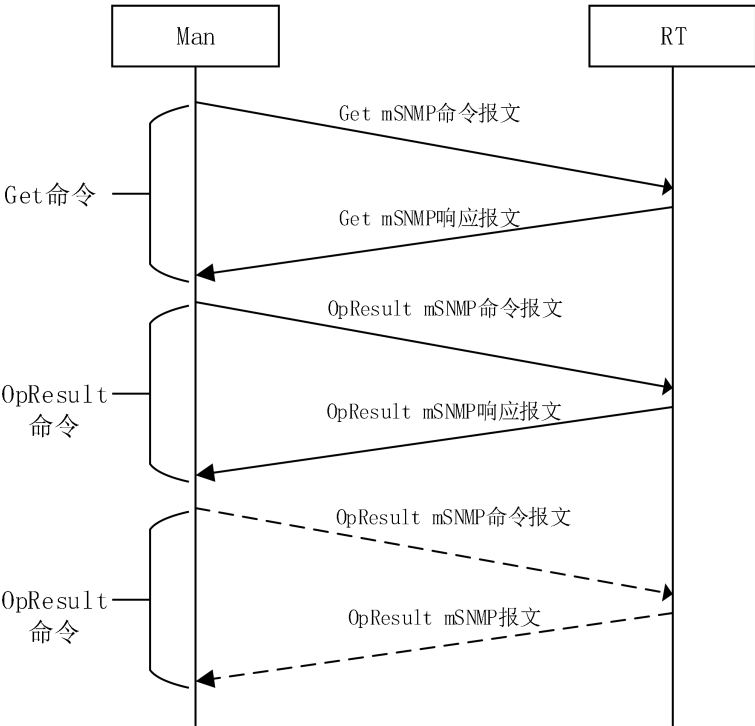


图 46 寄存器读流程示意图

寄存器读过程管理过程如下：

- a) SNMP Manage 发送 Get Request-mSNMP 命令报文；
- a) NT 终端返回 Get Resonse-mSNMP 响应报文；
- b) SNMP Manage 发送 OpResultRequest -mSNMP 命令报文；
- c) NT 终端返回 OpResult Response-mSNMP 响应报文。

9.2.3.2 寄存器读 Get 过程

9.2.3.2.1 Get Request 负载要求

Get Request 是在 mSNMP 命令报文的负载中附加 Get Request 请求。

图 47 为 SNMP 管理 Get Request 映射为 mSNMP 消息命令报文的格式, 表 39 是 Get Request 负载说明。

字段/位序	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Payload[04:01]	SNMP Request/Response-ID = 100(示例)																SNMP Command Number = 2(示例)															
Payload[08:05]	0x289E																Get Request								0x0							
Payload[12:09]	Address																															
Payload[16:13]	RSVD																															
Payload[20:17]	Address																															
Payload[24:21]	RSVD																															
FCS	Frame Check Sequence																															

图 47 Get Request 负载格式要求

表 39 Get Request 负载说明

序号	字段名称/位置	取值	说明
1	SNMP Requeset/Response-ID	0~65535	用于 SNMP 管理访问的序列号，每个完整的 SNMP 管理命令执行完++
2	SNMP Command Number	0~(MTU-4)/8	单位：命令个数，每个命令占用 8 个字节 负载长度，不超过协议最大负载长度
3	SNMP Command	0b0010	Get Request
4	SNMP Identifier	0x289E	固定值为 0x289E
5	SNMP Response Code	0x00	命令报文固定值为 0x0
6	Address	寄存器偏移量	需要读取的寄存器偏移量
7	RSVD	保留	保留

9.2.3.2.2 Get Responset 负载要求

Get Response 是在 mSNMP 响应报文的负载中附加 Get Response 响应负载。

图 48 为 SNMP 管理 Get Response 映射为 mSNMP 消息命令报文的格式,表 40 是 Get Request 负载说明。

字段/位序	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Payload[04:01]	SNMP Request/Response-ID = 100 (示例)																SNMP Command Number = 0															
Payload[08:05]	0x289E																Get Response								SNMP Response Code							
FCS	Frame Check Sequence																															

图 48 Get Response 负载格式要求

表 40 Get Response 负载说明

序号	字段名称/位置	取值	说明
1	SNMP Requeset/Response-ID	0~65535	与 Get Requeset 保持一致
2	SNMP Command Number	0	命令个数为 0
3	SNMP Command	0b0000	Get_Response
4	SNMP Identifier	0x289E	固定值为 0x289E
5	SNMP Response Code	0x00	ROK 或其它响应码

9.2.3.3 寄存器读 OpResult 过程

9.2.3.3.1 OpResult Request 负载要求

OpResult Request 是在 mSNMP 命令报文的负载中附加 OpResult Request 请求。

图 49 为 SNMP 管理 OpResult Request 映射为 mSNMP 消息命令报文的格式, 表 41 是 OpResult Request 负载说明。

字段/位序	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Payload[04:01]	SNMP Request/Response-ID = 100(示例)																SNMP Command Number = 0															
Payload[08:05]	0x289E																OpResult Request								0x0							
FCS	Frame Check Sequence																															

图 49 OpResult Request 负载格式要求

表 41 OpResult Request 负载格式说明

序号	字段名称/位置	取值	说明
1	SNMP Request/Response-ID	0~65535	与 Get Request 保持一致
2	SNMP Command Number	0~(MTU-4)/8	命令个数为 0
3	SNMP Command	0b0000	OpResult Request
4	SNMP Identifier	0x289E	固定值为 0x289E
5	SNMP Response Code	0x00	命令报文固定值为 0x0

9.2.3.3.2 OpResult Response 负载要求

OpResult Response 是在 mSNMP 响应报文的负载中附加 OpResult Response 响应负载。

图 50 为 SNMP 管理 OpResult Response 映射为 mSNMP 消息命令报文的格式, 表 42 是 OpResult Response 负载说明。

字段/位序	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Payload[04:01]	SNMP Request/Response-ID = 100(示例)																SNMP Command Number = 2(示例)															
Payload[08:05]	0x289E																OpResult Response								SNMP Response Code							
Payload[12:09]	Address																															
Payload[16:13]	Read Data																															
Payload[20:17]	Address																															
Payload[24:21]	Read Data																															
FCS	Frame Check Sequence																															

图 50 OpResult Response 负载格式要求

表 42 OpResult Response 负载格式说明

序号	字段名称/位置	取值	说明
1	SNMP Request/Response-ID	0~65535	与 Get Request 保持一致
2	SNMP Command Number	取决于 Get Request	与 Get Request 的命令数目一致
3	SNMP Command	0b0000	OpResult Response

表 42 OpResult Response负载格式说明(续)

序号	字段名称/位置	取值	说明
4	SNMP Identifier	0x289E	固定值为 0x289E
5	SNMP Response Code	0x00	ROK 或其他状态
6	Address	寄存器偏移量	读取的寄存器偏移量
7	Data	寄存器数据	读取的寄存器数据

9.3 数据服务类型

9.3.1 队列端口

9.3.1.1 队列形式

队列端口是应用程序与同步交换网络 iRAX 之间的接口，其终端到终端的数据队列形式应满足以下要求：

- a) 发送方在消息调度时序明确指定 SNT、DNT 及 SA；
- b) 采用先进先出的队列管理规则对数据进行排序。

Queuing 端口缓冲区如图 51 所示：

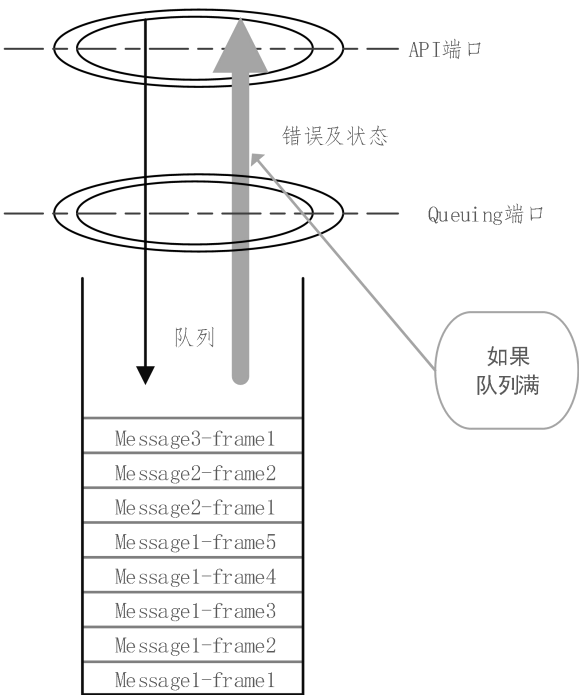


图 51 Queuing 端口发送缓冲区示意图

9.3.1.2 多帧发送机制

发送端应支持数据多帧传输模式，Queuing 端口支持配置以下参数：

- a) 最大帧数：单个多帧消息允许的最大数据帧数量；
- b) 最大单帧负载长度：单帧数据允许携带的最大有效载荷数。

数据封装为多帧消息后发送，发送端应确保多帧消息的完整性与顺序性。

9.3.1.3 多帧接收与组合规则

接收端 SA 端口应执行多帧组合处理，仅当整组多帧消息正确接收完毕后，方可将数据存入接收端口的服务队列。

多帧组合过程中，若检测到帧序列错误或完整性校验失败，应拒绝将数据存入服务队列，并在响应帧的 Head.RC 中返回错误信息。

9.3.1.4 队列溢出

队列发生缓冲区溢出，端口管理机制应：

- a) 向数据源返回错误状态指示；
- b) 丢弃溢出数据帧。

应用软件需确保 SAP 缓冲区容量满足数据写入需求，避免持续性溢出。

9.3.1.5 接收溢出

当接收队列发生溢出时，在响应码(Response Code)字段中标记“SAF”响应码，并丢弃该帧。

9.3.2 采样端口

9.3.2.1 队列形式

采样端口是应用程序与同步交换网络 iRAX 之间的接口，其终端到终端的数据队列形式应满足以下要求：

- a) 发送方在消息调度时序明确指定 SNT、DNT 及 SA；
- b) 采用循环覆盖规则对数据进行管理。
- c) 不支持多帧序列；
- d) 最大单帧负载长度：单帧数据允许携带的最大有效载荷数。

Sampling 端口缓冲区如图 52 所示：

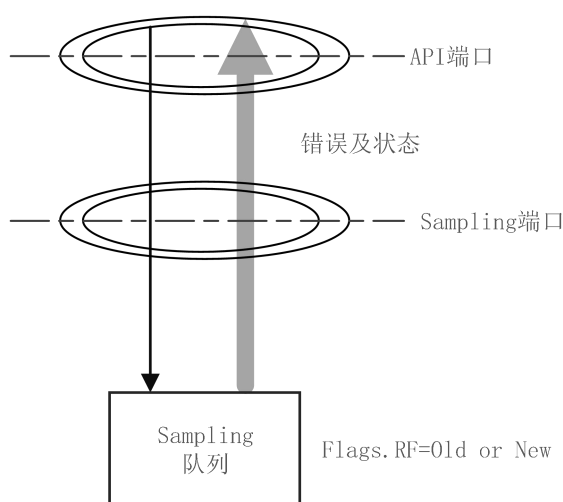


图 52 Sampling 端口缓冲区示意图

9.3.2.2 缓冲区刷新机制

采样(Sampling)端口缓冲区应采用数据覆盖刷新机制，每个端口需配置唯一刷新标记 Sampling.RF；

该标记的定义与功能应与标志字段 (Flags. RF) 完全一致。

9.3.2.3 数据传输与标记引用

缓冲区数据通过消息发送时，消息中的标志字段 (Flags. RF) 应直接引用端口刷新标记，并随数据同步传输至目的终端 NT。

目的终端 NT 的子地址接收到数据后，应采用数据覆盖方式刷新本地缓冲区，并同步更新接收缓冲区的刷新标记，确保与发送端 Flags. RF 字段一致。

9.3.2.4 缓冲区刷新标志

刷新标记与 Flags. RF 的操作约定

- a) 应用向端口缓冲区写入数据后，队列管理机制应置位 Sampling. RF=1；
- b) 发送消息时，应设置报文 Flags. RF=Sampling. RF，且队列管理机制需将 Sampling. RF 重置为 0；
- c) 接收端 SA 端口缓冲区预设 Sampling. RF=1；
- d) 接收端协议栈接收到消息数据后，应将 Sampling. RF 赋值为 Flags. RF 字段值；
- e) 接收端应用层读取 SA 端口数据后，队列管理机制应将 Sampling. RF 重置为 0。

9.3.3 服务访问点端口

9.3.3.1 队列形式

服务访问点端口支持端到多端通信方式，每个 SAP 子地址可指定不同的目标终端 (NT) 地址，目标终端地址由数据内容直接确定。缓冲区如图 53 所示。

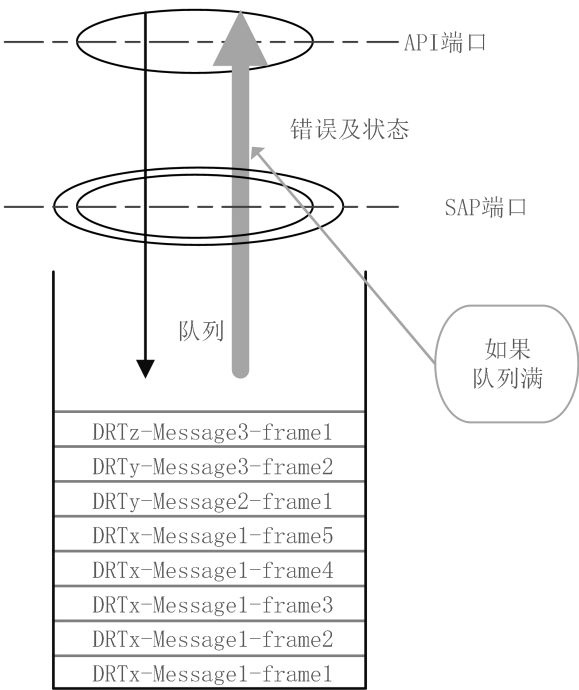


图 53 SAP 缓冲区队列示意图

9.3.3.2 数据路由特性

SAP 端口的队列支持多目标地址并发路由，如同一队列中的消息可分别发往 NTx、NTy、NTz 等不同终端。

9.3.3.3 多帧发送机制

发送端应支持数据多帧传输模式，SAP 端口支持配置以下参数：

- a) 最大帧数：单个多帧消息允许的最大数据帧数量；
- b) 最大单帧负载长度：单帧数据允许携带的最大有效载荷数。

数据封装为多帧消息后发送，发送端应确保多帧消息的完整性与顺序性。

9.3.3.4 队列存储结构

如图 53 《SAP 缓冲区队列》所示：

- a) 队列采用先进先出 (FIFO) 机制存储消息，示例中包含 Msg1 (发往 NTx)、Msg2 (发往 NTy)、Msg3 (发往 NTz)；
- b) 每个消息需携带目标终端地址字段，由端口管理机制解析路由。

9.3.3.5 队列溢出

队列发生缓冲区溢出，端口管理机制应：

- c) 向数据源返回错误状态指示；
- d) 丢弃溢出数据帧。

应用软件需确保 SAP 缓冲区容量满足数据写入需求，避免持续性溢出。

9.3.3.6 接收溢出

当接收队列发生溢出时，在响应码 (Response Code) 字段中标记 “SAF” 响应码，并丢弃该帧。
