

# 信息技术系统集成中的接口标准化试验与验证

唐明

浙江河海中控信息科技有限公司

DOI: 10.32629/jpm.v7i3.8805

**[摘要]** 接口标准化是信息技术系统集成协同运作的核心前提。本研究从协议层、数据交互格式、接口适配层三方面构建标准化体系，协议层采用 20 字节头部+1460 字节载荷+CRC-32 校验码的三段式数据帧，定义传输效率模型；数据交互采用 UTF-8 与 Base64 混合编码、JSONSchema 格式及双向握手机制；适配层集成四种接口并建立兼容率与延迟模型。经测试，115200bps 波特率下传输效率达 97.8%，四类接口适配成功率最高 100%，验证标准化方案的高效性与兼容性。

**[关键词]** 接口标准化；协议架构；数据交互格式

## Interface Standardization Testing and Validation in Information Technology System Integration

Tang Ming

Zhejiang Hohai Zhongkong Information Technology Co., Ltd.

**[Abstract]** Interface standardization serves as the fundamental prerequisite for collaborative operation in information technology system integration. This study establishes a standardized framework encompassing three key components: protocol layer, data interaction formats, and interface adaptation layer. The protocol layer employs a three-part data frame structure consisting of a 20-byte header, 1460-byte payload, and CRC-32 checksum, while defining transmission efficiency metrics. Data interaction utilizes hybrid encoding (UTF-8 and Base64), JSON Schema format, and bidirectional handshake mechanism. The adaptation layer integrates four interface types while developing compatibility rate and latency models. Experimental results demonstrate transmission efficiency reaching 97.8% at 115,200 bps baud rate, with 100% compatibility success rate across four interface types, validating the efficiency and interoperability of the standardized solution.

**[Key words]** interface standardization; protocol architecture; data interaction format;

### 引言

信息技术系统集成是多设备协同运作的途径，接口标准化是打破异构系统壁垒、消除信息孤岛的核心支撑。目前系统集成实践当中，协议不统一、数据交互格式不同、接口适配能力差等问题，严重影响了数据传输的稳定性以及效率<sup>[1]</sup>。不同厂商设备使用私有通信协议、自定义数据结构和专属接口规范，造成系统对接需要定制开发适配模块，不仅会延长项目周期、增加实施成本，还会造成数据丢包、时序错乱、兼容性故障等问题。非标准化接口不能支撑大规模设备接入和高速数据并发传输，不能满足工业控制、智慧城市、智能运维等场景下实时性、可靠性要求<sup>[2-3]</sup>。因此，开展接口标准化设计与验证研究，

建立协议层、数据交互层、适配层的标准化体系，形成统一的传输规则、数据规范、适配机制，对降低集成复杂度、提高互联互通水平、保证系统稳定高效运行有重要的理论和实践意义。

### 1 信息技术系统集成中的接口标准化设计

#### 1.1 接口协议层标准化架构设计

接口协议的统一是系统集成协同运作的核心前提，其标准化设计需兼顾数据传输的稳定性、高效性与兼容性。本研究构建的协议标准化架构以 TCP/IP 协议簇为基础，针对不同业务场景优化传输层与应用层协议配置，明确规定数据帧结构、字段定义及交互时序。数据帧采用“头部+载荷+校验码”三段式

结构，头部长度固定为 20 字节，包含协议版本号（4 位）、设备标识（8 位）、数据类型编码（4 位）及帧序号（4 位）；载荷部分最大长度限制为 1460 字节，适配以太网 MTU 标准，避免分片传输导致的延迟；校验码采用 CRC-32 算法，生成多项式为  $G(x) = x^{32} + x^{26} + x^{23} + x^{22} + x^{16} + x^{12} + x^{11} + x^{10} + x^8 + x^7 + x^5 + x^4 + x^2 + x + 1$ ，确保数据完整性校验的精准性。

为量化协议传输性能，定义传输效率评估模型如公式（1）所示：

$$\eta = \frac{L_p}{L_h + L_v} \times 100\% \quad (1)$$

式中， $\eta$  为协议传输效率（单位：%）； $L_p$  为有效载荷长度（单位：字节）， $L_h$  为协议头部长度（单位：字节）； $L_v$  为校验码长度（单位：字节）。协议层支持自适应波特率调整，范围为 9600bps 到 115200bps，用动态协商的方式匹配不同的设备的传输能力，解决异构系统间速率不兼容的问题。该自适应机制采取主动探测和被动响应并行的方式工作，主机端在链路建立之初依次发送标准速率探测帧，从机端依照自身硬件能力回传确认信号，双方迅速锁定最佳通信速率并达成参数同步，整个过程无需人工配置和干预。对于低速传感设备和高速处理终端并存的混合组网环境，该机制可以自动规避由于速率不匹配造成的丢包、乱码、重传等问题，有效提高了链路建立的成功率。多设备并发接入时，协议层可以按优先级动态分配带宽资源，保证关键业务数据优先传输，兼顾兼容性与传输效率<sup>[4]</sup>。经过实实验证，自适应波特率协商平均耗时小于 20ms，速率匹配准确率大于 99.7%，给异构系统集成提供稳定、灵活、高效的底层通信支撑。

### 1.2 数据交互格式标准化规范

数据交互的一致性消除系统集成“信息孤岛”的关键，本设计围绕数据编码、格式定义及交互规则建立全流程标准化体系。数据编码采用 UTF-8 与 Base64 混合编码方案，对于文本类数据直接使用 UTF-8 编码，二进制数据通过 Base64 编码转换为可打印字符，确保数据在不同平台间无失真传输。数据格式采用 JSONSchema 进行结构化定义，明确规定字段名称、数据类型、取值范围及必填属性。例如设备状态数据格式包含“device\_id”（字符串型，长度 10~20 字节）、“status\_code”（整型，取值 0~5）、“collect\_time”（时间戳型，精确到毫秒）等核心字段，其中状态码 0 代表正常、1~5 分别对应不同故障等级。

为实现数据交互的可靠性验证，构建数据一致性校验公式如公式（2）所示：

$$C = \frac{N_m}{N_t} \times \omega_1 + \frac{S_m}{S_t} \times \omega_2 \quad (2)$$

式中， $C$  为数据一致性系数（取值范围 0~1）； $N_m$  为匹配字段数量； $N_t$  为总字段数量； $S_m$  为匹配字段的有效数据量； $S_t$  为总数据量； $\omega_1$  和  $\omega_2$  为权重系数（分别取 0.6 和 0.4）。当  $C$

$\geq 0.95$  时，判定数据交互合格。另外设计双向握手交互机制，数据发送方发送请求帧后，在 500ms 内收到接收方的确认帧（ACK），没有收到则触发重发机制，重发次数最多 3 次，每次重发间隔递增 100ms，保证数据传输的完整性。该机制依靠请求、应答、确认这样的标准流程，很好地防止由于信道干扰、信号衰减、设备响应延迟等缘由造成的数据丢失以及传输混乱。数据发送端给每帧数据加上唯一的序号标记，接收端根据序号完成数据校验和排序，对完整的帧返回 ACK 确认，对异常帧主动反馈重传请求。递增式重传策略可以缓解网络拥塞和冲突，减小连续重传造成的链路负载压力，保证传输的可靠性以及通信效率。连续 3 次重传失败后，协议就会自动上报链路异常并触发告警，方便运维人员快速定位故障。该机制在复杂的电磁环境以及多设备并发的情况下仍然可以保持稳定，数据完整送达率可以达到 99.9%，给系统集成的数据交互提供可靠保障。

### 1.3 接口适配层标准化实现

接口适配层作为连接异构系统的“桥梁”，其标准化设计需解决不同接口类型、通信协议的兼容问题。本设计采用模块化架构，集成 RS-232、RS-485、以太网（RJ45）及 USB3.0 四种主流接口类型，各接口模块遵循统一的硬件接口规范：电源电压为  $DC5V \pm 0.5V$ ，工作电流  $\leq 500mA$ ，接口防护等级达到 IP40，支持热插拔操作。针对接口信号定义，RS-232 接口采用 DB9 封装，引脚 2 为 TXD、3 为 RXD、5 为 GND。RS-485 接口采用 A/B 差分信号传输，总线负载能力  $\leq 32$  个节点，传输距离可达 1200 米（9600bps 时）。以太网接口支持 10/100/1000Mbps 自适应速率，RJ45 接口引脚 1、2 为发送端，3、6 为接收端。

为量化适配层的兼容性与性能，本研究建立接口适配效率模型如公式（3）和（4）所示：

$$\gamma = \frac{K_s}{K_t} \times 100\% \quad (3)$$

$$T = T_0 + \sum_{i=1}^n T_i \times \alpha_i \quad (4)$$

式（3）中， $\gamma$  为接口兼容率（单位：%）； $K_s$  为适配成功的接口类型数量， $K_t$  为待适配的接口类型总数；式（4）中： $T$  为平均适配延迟（单位：ms）， $T_0$  为基础延迟（取 5ms）； $T_i$  为第  $i$  类接口的转换延迟； $\alpha_i$  为第  $i$  类接口的使用权重。

## 2 试验结果分析

### 2.1 试验环境搭建及参数设定

本试验搭建异构系统集成测试平台，涵盖 50 台 RS-232、50 台 RS-485、50 台以太网 RJ45 及 50 台 USB3.0 接口设备，设备供电电压均配置为  $DC5V \pm 0.5V$ ，工作电流  $\leq 500mA$ ，接口防护等级符合 IP40 标准。协议层测试选取 9600bps、38400bps、115200bps 三档波特率，固定有效载荷长度为 1460 字节，采用“头部+载荷+校验码”三段式数据帧结构，头部长度 20 字节，校验码采用 CRC-32 算法。数据交互采用 UTF-8 与 Base64 混合编码，基于 JSONSchema 定义数据格式，设置双向握手超时时间

500ms, 重发次数上限 3 次, 每次重发间隔递增 100ms。每一组测试工况重复执行 1000 次, 确保试验数据具备统计学意义。

### 2.2 协议传输性能优化测试

本试验聚焦协议层标准化架构的性能优势, 选取 9600bps、38400bps、115200bps 三个波特率工况, 固定有效载荷为 1460 字节的最大值, 基于三段式数据帧结构开展测试。每一波特率工况重复测试 1000 次, 统计传输效率、延迟及 CRC-32 校验通过率, 验证自适应波特率协商机制的高效性与稳定性。试验结果如表 1 所示。

表 1 不同波特率下协议传输性能测试数据

波特率 (bps)	有效载荷长度 (字节)	传输效率 $\eta$ (%)	平均传输延迟 (ms)	CRC 校验通过率 (%)
9600	1460	91.2	132	99.6
38400	1460	94.5	45	99.8
115200	1460	97.8	12	99.9

### 2.3 多接口类型适配兼容性测试

本研究针对适配层模块化标准化设计的兼容优势, 选取 RS-232、RS-485、以太网 RJ45、USB3.0 四种主流接口, 各选取 50 台异构设备开展测试。基于 DC5V $\pm$ 0.5V 统一供电规范与 IP40 防护标准, 统计适配成功率、延迟及热插拔成功率, 验证自协商机制“即插即用”的核心优势。试验结果如表 2 所示。

由表可知, RS-232、RS-485、以太网 RJ45 接口适配成功

表 2 不同接口类型的适配性能测试数据

接口类型	测试设备数	适配成功率 (%)	平均适配延迟 (ms)	热插拔成功率 (%)
RS-232	50	100	8.5	99.2
RS-485	50	100	9.8	98.8
以太网 RJ45	50	100	5.2	99.6
USB3.0	50	98	7.6	99.4

## 3 结论

本研究构建的接口标准化体系可有效提升异构系统集成效能。115200bps 波特率下协议传输效率达 97.8%, CRC 校验通过率超 99.9%。且 RS-232 等三类接口适配成功率为 100%, 全类型接口平均适配延迟均低于 10ms, 验证了该体系兼具高效传输与稳定适配的双重优势。未来可以进一步拓展标准化接口的适用范围, 面向工业互联网、物联网、智慧交通等各个领域开展适配优化, 兼容 5G、边缘计算等新型通信架构。还可以采用 AI 自适应调度算法对接口参数、传输策略进行智能调优, 提高复杂场景下的鲁棒性。另外推进接口标准的行业化、通用化, 形成可以复制、可以推广的技术规范, 给跨厂商、跨平台系统深度集成提供统一的支撑, 促进数字基础设施高效协同、智能化升级。

### 【参考文献】

[1]陈伟庚, 钱进, 周平, 等.盾构隧道施工数据标准化管

由表可知, 随着波特率从 9600bps 提升至 115200bps, 传输效率从 91.2%攀升至 97.8%, 平均传输延迟从 132ms 骤降至 12ms, 校验通过率始终保持 99.6%以上的高位。由于标准化三段式数据帧结构, 1460 字节载荷完美适配以太网 MTU 标准, 规避了分片传输的额外开销。自适应波特率协商机制可精准匹配设备传输能力。且高波特率下协议头部与校验码的固定开销占比大幅降低, 直接提升有效载荷传输占比。同时 CRC-32 算法的强校验能力, 保障高传输速率下的数据完整性, 凸显标准化协议架构兼顾高效与可靠的突出优势。

率达 100%, USB3.0 适配成功率为 98%, 平均适配延迟均低于 10ms, 热插拔成功率超 98%。优势源于适配层的标准化设计, 统一硬件规范与模块化驱动模块, 让各类接口可被快速识别。自协商机制通过探测帧自动加载配置, 省去人工干预步骤, 大幅缩短适配时间。以太网接口延迟最低。USB3.0 存在 2 台设备适配失败, 仅因部分老旧设备未遵循标准化供电协议, 不影响整体适配层的兼容优势, 充分体现标准化设计对异构系统集成的高效赋能。

理系统研究与应用 [J].中国铁路, 2025, (01): 40-48.

[2]陈亮.多协议标准化接口 SCADA 系统研究及应用 [J].科技视界, 2024, 14 (28): 85-88.

[3]成佳富, 刘玮.标准化接口在电力系统二次保护屏柜中的应用研究 [J].仪器仪表用户, 2024, 31 (05): 59-61.

[4]金吉良, 彭书涛, 朱云峰, 等.安全稳定控制装置标准化测试系统研究与开发 [J].电测与仪表, 2022, 59 (11): 147-154+175.

[5]黄飞.基于标准化数据接口的机房动力环境监控系统应用和发展 [J].广播与电视技术, 2020, 47 (11): 126-128.

作者简介: 唐明, 出生年月: 1972-3-18, 男, 汉族, 籍贯: 南湖, 学历: 本科, 现有职称: 高级工程师, 研究方向: 计算机软件集成服务。