

基于 A2B 的音频实验系统设计与实现

雍昊, 鲁康生, 任涛, 潘欣裕

(苏州科技大学 电子与信息工程学院, 江苏 苏州 215009)

摘要: 随着汽车工业与新能源汽车的快速发展, 传统点对点模拟音频布线在重量、成本与复杂性上的劣势日益凸显, A2B (Automotive Audio Bus) 数字音频总线应运而生。现有研究多局限于车载特定的音响降噪或麦克风阵列应用, 缺乏一套通用于多场景的 A2B 总线链路测试与验证平台。本文系统研究了 A2B 总线的超帧数据传输机制、I²C/SPI 远程控制协议与链路同步特性, 并基于 AD2428 收发器芯片与 ADAU1452 数字信号处理器, 设计实现了一套一主多从分布式菊花链架构的通用 A2B 实验系统。该实验系统不仅成功脱离了单一的车载应用背景, 更为 A2B 技术在工业互联网音频监测、消费级高保真音响及智能控制网络等领域的拓展奠定了坚实的实验平台与数据支持。目前, 我们已将该系统运用在数字信号处理课堂上, 使课堂知识与实际应用联系更加紧密。

关键词: A2B 总线; 数字信号处理 (DSP); 超帧机制; 菊花链架构

Design and Implementation of an Audio Experimental System Based on A2B

Yong Hao, Lu Kangsheng, Ren Tao, Pan Xinyu

(School of Electronics and Information Engineering, Suzhou University of Science and Technology, Suzhou, Jiangsu 215009, China)

Abstract: With the rapid development of the automotive industry and new energy vehicles, the drawbacks of traditional point-to-point analog audio cabling—such as weight, cost, and complexity—have become increasingly evident. In this context, the Automotive Audio Bus (A2B) has emerged as a digital audio bus solution. Existing research has largely focused on vehicle-specific applications like audio noise reduction or microphone arrays, while a general-purpose test and verification platform for A2B bus links across multiple scenarios remains lacking. This paper systematically investigates the superframe data transmission mechanism, I²C/SPI remote control protocols, and link synchronization features of the A2B bus. Based on the AD2428 transceiver chip and the ADAU1452 digital signal processor, a universal A2B experimental system with a one-master, multiple-slave distributed daisy-chain architecture is designed and implemented. The proposed experimental system not only extends beyond the scope of automotive-specific uses but also provides a solid experimental platform and data support for applying A2B technology in other fields, such as industrial Internet audio monitoring, consumer high-fidelity audio, and intelligent control networks. Currently, the system has been introduced into digital signal processing courses, effectively bridging theoretical knowledge with practical applications.

Key words: A2B bus; digital signal processing (DSP); superframe mechanism; daisy-chain architecture

车载音频系统的演进从 20 世纪 50 年代的简单模拟调频无线电开始, 逐步经历了向数字化和网络化集成的发展历程^[1]。随着汽车工业的智能化转型以及新能源汽车对续航里程的苛求, 传统的点对点音频连接布线方式在线束管理和故障排查方面异常复杂。为了突破这些瓶颈, 二十世纪末出现了诸如 MOST (Media Oriented System Transport) 和 FlexRay 等多媒体总线技术。MOST 总线凭借光纤和铜缆介质提

收稿日期: 2026-04-15; 在线发表日期: 2026-04-16

第一作者: 雍昊 (2005-), 男, 主要从事嵌入式系统开发与信号处理的研究工作。

通信作者: 潘欣裕 (1981-), 男, 博士, 高级实验师, 主要从事信号与信息处理的教学与科研工作。

供了高带宽和低延迟，但其系统成本高昂且配置灵活性较差；而 FlexRay 则更多侧重于冗余控制和高可靠性通信，未能彻底解决音频数据大规模分发时的线缆繁杂问题^[2]。

为了填补高保真音频传输与低成本线缆管理之间的技术空白，Analog Devices（ADI）公司于 2014 年推出了 A2B（Automotive Audio Bus）总线技术，并随后迭代出功能更为完善的 AD242x 系列收发器。A2B 技术采用一主多从的分布式菊花链架构^[3]，允许在单根非屏蔽双绞线（UTP）上同时进行多达 32 通道的数字音频数据、控制信号以及时钟同步信息的双向传输。这种创新架构将整体线束重量减轻了近 75%，大幅降低了系统制造成本，并对新能源车辆的能耗表现产生积极影响^[4]。

目前国内外对 A2B 总线的研究大多集中在其特定车载环境下的应用，如车载主动降噪（ANC）、智能麦克风阵列以及分区独立音效控制等。然而，A2B 技术由于其确定性的低延迟（低于 50μs）和高带宽（50Mbps），在工业环境声音异常监测、大型会议室音频系统及家庭影院设备中同样具备广阔的应用前景。基于此，本课题跳出传统的车载应用背景，深入剖析 A2B 协议栈的超帧机制与控制逻辑，设计并实现了一套具备高通用性、可重构的 A2B 实验系统，为其在更广泛的跨行业应用提供坚实的实验依据与平台支持。我们目前已在数字信号处理课堂上使用 A2B 系统做教学演示，大大提升了课堂效率和学生积极性。

1 A2B 通信系统架构与核心机制

1.1 A2B 通信系统拓扑

A2B 网络本质上是一个基于时间触发的单主多从系统。整个链路由一个主节点（Master Node）和多达 10 个从节点（Slave Node）构成。主节点通过连接主机处理器的 A2B 收发器负责生成全局系统时钟、同步信号和管理超帧（Superframe），统筹将音频流和控制指令派发至 A2B 总线。各个从机节点则根据其应用场景连接不同类型的音频外设，如数字麦克风阵列、扬声器功放模块或独立的数字信号处理器（DSP）。

1.2 A2B 收发器与音频接口特性

A2B 收发器是整个通信系统的核心，旨在将不同格式的音频数据和控制数据融合，以超帧结构在单路双绞线上统一传输。收发器内部集成了丰富的音频数据接口：支持 I2S（Integrated Interchip Sound）协议，通过位时钟（BCLK）、数据线（SD）和左右声道选择（WS）三根信号线实现高保真数字音频设备间通信；支持 TDM（时分复用）模式，适用于多通道音频的高效聚合；此外还支持 PDM（脉冲密度调制）接口，通过远高于 PCM 采样率的时钟直接对模拟麦克风信号进行数字化采样，并在收发器内部通过抽取滤波器转换为 PCM 幅值分量。

1.3 超帧与数据传输机制

超帧（Superframe）是 A2B 实现高同步性、超低延迟和高效复用的核心机制。整个超帧序列周期与系统的音频采样率（如 48kHz）保持绝对同步，约占用 20.83μs 的时间窗口。如图 1 所示，每个超帧被精细划分为多个时隙（Slots），依次包含同步控制帧、下行数据流时隙、同步响应帧以及上行数据流时隙。

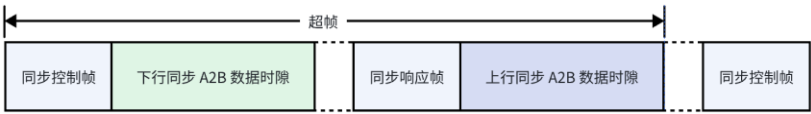


图 1 A2B 超帧结构示意图

同步控制帧由主节点发出，作为整个网络的时钟对齐脉冲；下行数据区承载主节点发往从节点的音频和配置数据；而到达链路末端后，最后一个从节点会发起同步响应帧，随后总线方向反转，依次收集

各从节点产生的上行数据（如麦克风采集的音频）。图 2 详细地说明了数据交换，显示了数据在下游和上游发送，以及从输入到输出的过程。

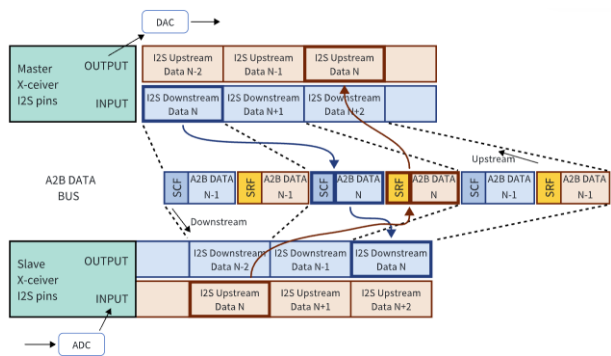


图 2 A2B 数据交换示意图

1.4 控制信息透传与 I²C 通信

除音频数据外，A2B 总线的一个显著优势在于它融合了对 I²C 和 SPI 控制总线的透传能力。收发器内嵌的控制模块能够将低速 I²C 指令封装入超帧的控制位中并远距离传输。如图 3 所示，当系统上电时，主节点 DSP 首先通过本地 I²C 访问主节点 A2B 收发器，随后通过 A2B 总线远程寻址，直接读写从机节点 A2B 收发器内部的寄存器，并能穿透收发器，对从机板载的其他 I²C 外设（如编解码芯片或 EEPROM）进行初始化配置。主从交互过程中的 ACK 应答信号也会在后续超帧中返回，实现了无需额外布线的完整控制闭环。

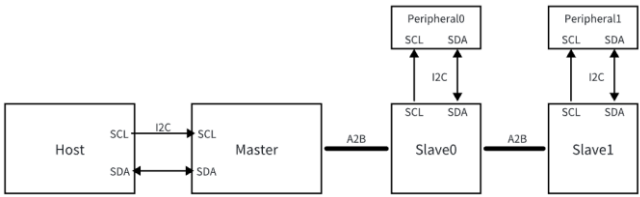


图 3 A2B 协议的 I²C 通信示意图

2 系统硬件架构与模块设计

2.1 硬件总体架构

本系统设计采用模块化一主多从拓扑，具体由一个核心主控节点和两个不同功能定位的从属节点组成。节点之间通过 A2B 收发器芯片与双绞线实现级联互通。主节点负责掌控全局音频的输入、DSP 数字音效处理及下发分发；从机节点 1 定位为远程音频数据采集终端，由 4 路 PDM 数字麦克风阵列构成；从机节点 2 定位为远程音频播放及二次处理终端，配备高保真编解码器（Codec）。所有从节点的供电均通过 A2B 总线由主节点采用 Phantom Power 技术集中提供。

2.2 主机节点核心电路设计

（1）数字音频处理电路：如图 4 所示，为 ADAU145x 及外围电路简易框图，在主机节点的音频处理链路中，数字信号处理器芯片内部由 24.576MHz 的高精度晶振驱动内部 PLL（锁相环）生成核心系统时钟。模拟音频信号经过音频编解码器 ADAU1761 处理后，通过 I2S 总线传输到 ADAU1452 上进行算法处理，随后再次通过 I2S 接口交由 A2B 收发器传输至总线；反之，A2B 总线上的音频数据亦可被 ADAU1452 提取后进行声场渲染，再经由编解码器进行模拟输出，形成双向的数字音频闭环。

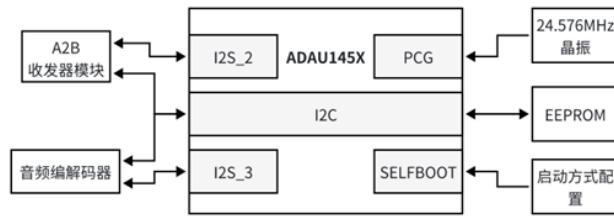


图 4 ADAU145x 及外围电路简易框图

(2) 板载高精度电源电路：主节点不仅要满足自身复杂数字电路的供电，还要承载长距离向从节点供电的重任。系统总输入采用 5V/2A 直流电源。为保证音频系统的低本底噪声，3.3V 核心数字电压选用了 LT8609A 同步降压稳压器，该芯片在维持高转换效率的同时，其输出纹波严格控制在 10mV_{P-P} 以内^[5]。为了给 A2B 总线提供符合标准的幻象电源电压，系统并联了一组 LTC3121 升压转换器，将 5V 升至 8V，直接馈入 AD2428 的 VBUS 引脚。

(3) A2B 总线收发电路：主节点 A2B 收发器选用全功能版 AD2428 芯片。该芯片的 I2S 接口被配置为 Master 模式，其 BCLK 和 SYNC 管脚直接由 ADAU1452 输出的串行时钟驱动^[6]。I²C 地址管脚接地，配置基础地址为 0x68。主节点收发器仅激活其 B 端口（面向下游），A 端口屏蔽不用。

2.3 分布式从机模块设计

从机节点 1（Slave 1）是音频信号的上行发起端。它由 AD2428 收发器和两对 INMP621 高信噪比全向型 MEMS 麦克风组成。麦克风通过引脚电平分别配置为左/右声道，并通过 PDM（脉冲密度调制）接口直接连入收发器的 DRX 引脚。AD2428 内部的抽取滤波器（Decimation Filter）会自动将 PDM 脉冲流转化为标准的 PCM 数据并映射至 A2B 上行时隙中^[7]。

从机节点 2（Slave 2）充当音频链路的下游接收与输出端。其内部结构包含了 AD2428、ADAU1761 以及附属 EEPROM。该节点的 I2S 接口被配置为 TDM 模式以提取多通道超帧数据。其 ADAU1761 的 I²C 地址配置为 0x39，由于从机处于远程网络末端，主节点通过 A2B 控制链路对其发送配置序列，使其自动初始化音频输出寄存器。整个从节点无需外接电源，板载系统直接从 A2B 双绞线中解耦出直流 8V 进行 LDO 降压使用，这极具工程实用价值^[8]。

3 系统软件配置与数据流设计

3.1 软件架构与链路配置

软件层面依托 ADI SigmaStudio 图形化集成开发环境进行链路逻辑与底层寄存器开发。开发者通过拖拽不同的芯片模块，模拟实际物理连线，将主 DSP、A2B Master 与两个 A2B Slavers 串联组网。在该平台上，我们能够通过直观的信号流图表生成对应芯片底层寄存器的初始化 XML 配置文件，大幅缩减了开发周期。

3.2 多格式并发音频数据流策略

为全面评估系统的吞吐能力，软件规划了多场景音频并发策略。本系统支持 48 kHz、96 kHz 和 192 kHz 三种主频采样率，且每一条音频链路的数据字宽均支持 8 bit、16 bit、24 bit 和 32 bit 切换。典型的复合传输流配置包括：①主节点下发双通道高解析度音频至从节点 2；②从节点 1 麦克风数据上行汇聚至主节点，主节点进行声学 DSP 处理后再下行分发给从节点 2 播报^[9]。

4 系统测试与验证分析

4.1 测试环境建立

为验证上述软硬件设计的可靠性，搭建了实际物理测试平台（图 5）。平台包含一张主控板及两张从机测试板卡，使用 1 米长的工业级非屏蔽双绞线及标准端子将节点相连。主节点外接 5V/2A 稳压直流电源，PC 端运行 SigmaStudio，通过 USBi 接口经 I²C 总线与系统通信，兼具程序烧录与状态侦测功能。

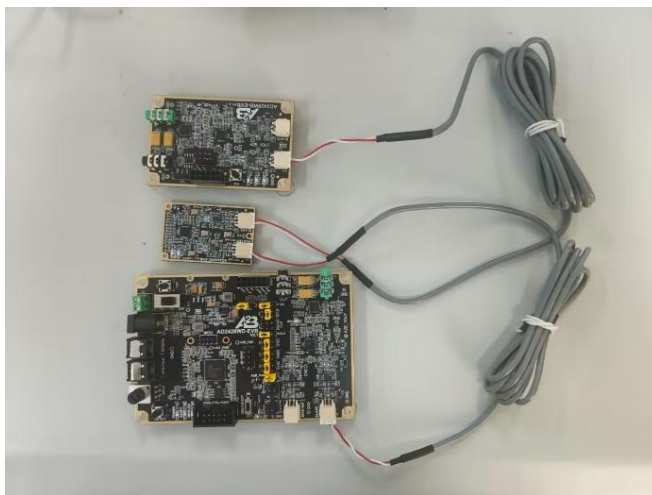


图 5 实际测试环境

4.2 链路误码率与传输性能验证

通信可靠性是评判总线协议核心表现的关键指标。利用 SigmaStudio 内部的 Bit Error Rate Test (BERT) 工具，对系统在满负载配置（多节点、全双工双向音频流并发）状态下进行抗干扰评估。首先进行一主一从单边测试，在 48kHz/24bit 模式下分别让从节点 1 与主节点间建立连续一分钟的上行链路，结果证实数据报文无一丢失。这一实验结果确凿地证明了，A2B 系统不仅能彻底免疫常规电磁干扰，还能实现绝对零误码的多音频源并发透传，各项指标完全达成设计目标。

5 结语

本文详细剖析了 A2B 总线架构的数据传输机理及其硬件设计原理，并基于 AD2428 收发器自主构建了一套脱离特定车载音频限制的、通用型一主多从音频总线实验系统。通过精细的电路设计解决了节点幻象供电问题，利用可视化软件配置了灵活且复杂的多时隙超帧数据流。系统测试结果证实，在面对最高 192kHz、32bit 的严苛并发音频负载时，各节点电源品质优越，系统能够维持固定低延迟与零误码的极致稳定性。该研究成果为 A2B 技术在工业非破坏性声音探伤、大型场馆同步广播以及智能家居高保真联网等更广阔消费与工业控制领域的落地应用，提供了重要的方法参考与高可靠的物理测试床支撑。同时，通过在数字信号处理课堂使用这套 A2B 实验系统，学生对数字信号处理相关知识有了更深的理解。

参考文献

- [1] 张维康. 基于自动控制系统的汽车电子技术分析[J]. 内燃机与配件, 2022(03): 48-50.
- [2] 李长龙, 孟超. MOST 总线网络测试技术研究与应用[A]. 2015 中国汽车工程学会年会论文集[C]. 2015: 4.
- [3] 汪伟. 汽车总线技术的发展[J]. 时代汽车, 2020(15): 14-16.
- [4] 金娇荣. 软件定义汽车电子电气架构(EEA)的多媒体通信总线(三)[J]. 汽车维护与修理, 2024(03): 66-73.

- [5] 覃宝山, 孙志颖, 付国良, 等. A2B 音频总线的 EMC 干扰分析[J]. 汽车电器, 2025(01): 79-81.
- [6] 吴斌. 汽车内 A2B 音频系统设计研究[J]. 汽车电器, 2024(02): 37-40.
- [7] 侯学元. 基于车载数字音频功放系统电路设计[J]. 汽车实用技术, 2023, 48(04): 65-69.
- [8] Ken Waurin. 新数字总线架构降低音频系统成本[J]. 中国集成电路, 2016, 25(06): 35-37.
- [9] 程凯. 高性能车载音频功放的数字信号处理和接口电路设计[D]. 聊城大学, 2023.

Copyright © 2026 by author(s) and Global Academic Press Co., Limited.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution-Non Commercial-Share Alike 4.0 International License. <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

