 DOI: https://doi.org/10.12349/iser.v6i6.6022

Research on Bluetooth protocol and application in car

Cheng Peng Ming Ye Bo Sun

Potin (Beijing) Technology Co.,Ltd., Beijing, 100096, China

Abstract

In the context of the global wave of automotive intelligence, in-vehicle wireless communication technology has become the core support for achieving interconnectivity and intelligent interaction in smart cockpits. Bluetooth technology, with its significant advantages such as a streamlined structure, low power consumption, and easy deployment, has deeply integrated into the short-range wireless communication ecosystem in vehicles, becoming a critical bridge for data exchange between in-vehicle devices. This article comprehensively explores the architecture of Bluetooth systems, protocol layers, in-vehicle applications, and testing, aiming to provide theoretical foundations and practical guidance for optimizing, upgrading, and innovatively applying Bluetooth technology in vehicles. It seeks to promote the development of wireless communication technology in smart cockpits towards more efficient, safer, and smarter directions.

Keywords

Bluetooth; on-board system; protocol architecture

车载蓝牙协议与应用研究

彭程 叶明 孙博

博鼎实华（北京）技术有限公司，中国 · 北京 100096

摘 要

在汽车智能化浪潮席卷全球的背景下，车内无线通信技术已成为智慧座舱实现互联互通、智能交互的核心支撑。蓝牙技术凭借其结构精简、低功耗运行、部署便捷等显著优势，深度嵌入车载短距无线通信生态，成为车载设备间数据交互的关键桥梁。本文通过对蓝牙系统架构、协议分层、车载应用及测试的全面探讨，旨在为车载蓝牙技术的优化升级与创新应用提供理论依据和实践指导，助力推动智慧座舱无线通信技术向更高效、更安全、更智能的方向发展。

关键词

蓝牙；车载系统；协议架构

1 引言

蓝牙是一种短距离无线通信技术，其工作在 2.4GHz 非授权频段。通过跳频扩频减少干扰。支持点对点通信。广泛用于无线耳机、智能手机、可穿戴设备等。在车载系统中，蓝牙技术在无线短距离通信领域发挥了重要作用。本文主要分析和研究了蓝牙的协议架构以及车载蓝牙相关的应用和测试。

2 蓝牙的发展历史

蓝牙的起源可以追溯到 20 世纪 90 年代。爱立信公司开始研究一种用于手机和配件之间的无线通信技术，最初称为“短链路无线技术”。 1998 年爱立信、诺基亚、英特尔、东芝和 IBM 联合成立了蓝牙特别兴趣小组（Bluetooth Special Interest Group, SIG），推动技术标准化。蓝牙技术经过二十余年的发展目前已经发展演进了六代标准。第一代蓝牙标准属于初创和标准化阶段，于 1999 年发布。之后演进了 1.1 和 1.2 版本，加入了自适应跳频（AFH）技术，以减少干扰并提高连接稳定性。第二代蓝牙标准于 2004 年问世。主要是提升性能和扩展功能。第三代蓝牙技术新增可选技术 High Speed，传输率高达 24Mbps。但增加了功耗和成本。第四代蓝牙标准开启了蓝牙低功耗时代 [1]。2010 年蓝牙 4.0 技术发布，它引入了低功耗技术，大幅降低了设备的能耗，延长了电池寿命，为智能手环、智能手表、智能家居等物联网设备的普及铺平了道路。之后的蓝牙 5.0 系列标准主要聚焦高质量音频、定位功能和新兴领域的应用。2024 年蓝牙联盟发布最新的 6.0 标准，引入信道探测功能，极大提升了定位精度。同时通过帧空间更新等特性，提升吞吐量性能和降低时延 [1]。

3 蓝牙的系统架构

在蓝牙系统中，存在两种系统结构：经典蓝牙（BR/EDR）和低功耗蓝牙（LE）。两种系统有相同之处也有不

【作者简介】彭程（1984–），男，中国北京人，硕士，高级工程师，从事无线短距通信技术的研究。

同之处。两种系统都由主机层（Host）、控制层（Controller）和应用层（Profile）组成。如图 1 所示。

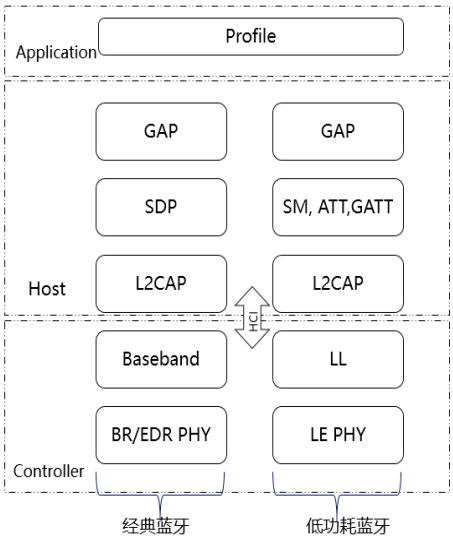


图 1 蓝牙的系统架构

3.1 经典蓝的协议层

在经典蓝牙的控制层中，主要分为物理层，基带层和链路管理层。物理层主要负责无线数据传输。在工作频段方面使用 2.4GHz 的非授权频段，被划分为 79 个信道 1MHz 的信道。调制方式上基本速率（BR）使用 GFSK 调制方式，增强数据速率（EDR）使用 π/4-DQPSK 和 8-DPSK 调制，分别用于 2 Mbps 和 3 Mbps 的数据传输速率。在物理层之上是基带层（Baseband），基带层的作用主要是管理数据的传输，包括建立、配置和终止逻辑链路，用于传输用户数据和控制信息以及生成适合传输的数据包，并进行错误检查和完整性校验等。物理层和基带通过链路管理协议（LMP）负责链路建立包括查询，连接建立，配对和认证、主从设备的角色分配和切换、服务质量，安全关联、链路配置等 [2]。

经典蓝牙的主机层主要由 L2CAP，SDP 和 GAP 等协议组成。逻辑链路控制与适配协议（L2CAP）是经典蓝牙主机层中的重要组成部分。它位于基带层之上，主要用于数据的封装、管理和适配。服务发现协议（SDP）主要用于设备之间的服务发现。其采用服务器 - 客户端架构，允许蓝牙设备获取远程设备支持的服务信息，也同时允许蓝牙设备描述自身提供的服务 [2]。例如当车机启动时会创建自身所提供的服务记录例如音频播放服务等。当手机搜索时一旦发现车机的蓝牙标识，会通过 SDP 发送服务请求。车机收到后会查找与请求中所匹配的服务记录并发送回手机。此外通用访问协议（GAP）也是经典蓝牙中主机层的重要组成。其负责设备的发现、连接和角色管理和安全机制，是蓝牙设备通信的基础。

3.2 低功耗蓝牙的协议层

低功耗蓝牙的控制层（controller）主要包括物理层和链路层。低功耗蓝牙使用高斯频移键控作为调制方式，同样工作在 2.4GHz 频段，共分为 40 个信道。其中 3 个是广播信道，37 个是数据信道，每个频段带宽是 2MHz。BLE 同样采用跳频技术来规避同信道的干扰。低功耗蓝牙的链路层在物理层之上，在 BLE 协议栈中起着至关重要的作用。主要功能为广播与扫描，设备发现，连接建立、数据传输，链路控制等。

低功耗蓝牙的主机层（host）主要包括 L2CAP、SM、ATT、GATT 和 GAP 层。L2CAP 位于链路层之上，主要负责数据管理、流量控制、多协议复用、服务质量提升等关键功能。它优化了 BLE 在低功耗场景下的数据处理能力，使 BLE 能够支持更复杂的应用，如高吞吐量数据传输、音频流、远程控制等。在 L2CAP 层之上是安全管理协议（Security Manager），主要负责设备间的安全连接，确保数据传输的机密性、完整性和身份验证。属性协议层（ATT）位于 L2CAP 之上，GATT 层之下。采用客户 - 服务器模式，以属性作为数据结构单位，实现高效的低功耗通信。为 GATT 层提供基础。其上的 GATT 层（通用属性协议），为 BLE 设备提供标准化的数据组织和交互方式。GATT 定义了一套基于属性的服务架构，用于 BLE 设备间的通信，如智能手环、蓝牙耳机、健康监测设备等。GAP 层是低功耗蓝牙（BLE）协议栈中的最高层，负责设备发现、连接、广播、安全机制等关键操作。GAP 决定 BLE 设备如何与其他设备交互，是 BLE 通信的基础。

3.3 蓝牙的应用层

蓝牙系统结构的最上层是应用层。主要由各种 profile 组成。它定义了设备之间如何使用蓝牙服务进行互操作从而实现特定的应用场景，确保不同厂商的设备之间具有良好的兼容性。蓝牙的 Profile 也分为经典蓝牙和低功耗蓝牙两大类。经典蓝牙的典型 profile 如 HSP, 适用于蓝牙耳机，支持基本的音频通话功能 [3]。低功耗蓝牙的 profile 例如 BAS，适用于设备电池电量状态报告如蓝牙耳机电量显示。HRS 适用于心率监测设备如智能手环 [3]。

4 车载蓝牙应用

车载蓝牙是将蓝牙短距无线通信技术与汽车领域车载设备进行连接与数据交互的一种应用。常见的车载蓝牙应用主要包括车载蓝牙电话、车载蓝牙娱乐、蓝牙数字车钥匙等。

4.1 车载蓝牙电话

车载蓝牙电话是通过蓝牙技术，实现车主在车内不需要拿起手机即可发起、接听电话的目的。车载蓝牙电话一般具备接打电话、收发短信、来电显示、上网、数字拨号、通讯录、通话管理、设置时间和日期等功能；车载蓝牙电话利用蓝牙与手机配对后，开始进行通信。车载蓝牙电话利用了蓝牙的无线通讯技术，通过蓝牙无线访问用户的手机系统并识别其中的信息包括手机号码、 电话的服务商、用户 ID、

手机中储存的联系人并且能够自动登录电话运营商的网络，实现了用户手机与车载电话的无线连接，使用户在接听或拨打电话的时候直接使用车载电话，增强了驾驶的安全性。

蓝牙联盟专门定义了 HFP（Hand Free Profile）规范了蓝牙在车载免提装置中的应用，使得用户通过车载麦克风和音响便可以打电话，保证了行车安全；定义了 PBAP（Phone Book Access Profile）和 OPP（Object Push profile）规范了电话簿下载的应用，使得用户可以将手机中的电话簿同步到车载免提装置上，从而可以利用汽车上的按键和液晶屏直接拨打电话，方便了用户的使用；

4.2 车载蓝牙娱乐

车载蓝牙多媒体系统主要使用场景是蓝牙手机用户可以通过蓝牙直接在汽车音响上播放手机中的音乐，需要手机和车机都需要支持蓝牙立体声。车主手机与车载蓝牙配对成功后，即可将手机中播放的音乐通过蓝牙传输到汽车的车机端播放，可以通过车机或手机对播放音乐进行控制，如音乐切换、快进后退、音量大小调节等。

除蓝牙播放音乐外，车载蓝牙还可以实现多媒体语音播放，该场景是目前比音乐播放使用频率更高，如语音导航通过蓝牙传输到车机端，车机端麦克风发出导航语音指令，免去手机端音量受限等问题，此外还有微信等支持语音聊天的语音播放，也可以通过车载蓝牙将语音信息传输到车机端播放。

4.3 蓝牙数字车钥匙

蓝牙数字车钥匙是基于蓝牙配对和蓝牙 RSSI 信号强度原理。用户将手机与车辆通过蓝牙进行配对绑定后，当用户携带手机靠近车辆时。车辆能够搜索并识别手机发出的蓝牙信号，即可自动解锁车门。当用户进入车内后，也可通过相关操作启动车辆。当用户携带手机离开车辆，手机超出车辆一定距离时，车辆自动锁闭。目前理想、蔚来、塞力斯等新势力车企均支持蓝牙数字车钥匙。以理想汽车为例，首先需要在手机端下载理想汽车的应用程序，进行身份认证后打开 APP, 在车内进行数字车钥匙的绑定。在此过程中还会提示用户进行蓝牙配对。在 APP 中看到手机钥匙连接成功就表示数字车钥匙能够正常使用了。如果解锁距离出现偏差，用户还能够通过 APP 进行调节。蓝牙数字车钥匙具有便捷性高、分享方便、功能丰富等优点。但也存在定位精度和安全风险等缺点

5 车载蓝牙的测试

车载蓝牙的测试主要分为标准化测试和定制化测试。标准化测试主要是指蓝牙联盟 BQB 的模块化测试。主要包括射频一致性测试、协议一致性测试和应用层 Profile 测试。定制化测试主要分为基本功能测试、兼容性测试和稳定性测试。基本功能测试主要验证车载蓝牙与终端在各种场景下的基础功能测试。例如车辆远程控制功能、车载语音通话功能、第三方软件蓝牙语音相关功能、车载娱乐音乐播放和影音播放功能等。兼容性测试主要指市场上不同品牌不同操作系统的智能终端与车载蓝牙系统的互联互通测试。目前市场上的智能手机型号繁多，其操作系统与蓝牙实现方式各不相同。因此在与不同车企的蓝牙系统交换过程中会产生兼容性问题。此类问题严重影响用户体验。例如某些品牌手机蓝牙发射功率偏大，导致用户已经远离车辆但车门仍无法完成闭锁。因此就需要兼容性测试调整解锁信号强度的阈值。稳定性测试主要是连接稳定性，数据传输稳定性以及特殊环境下的配对稳定性。

6 结语

车载蓝牙技术是诸多车内通信技术的一种，同时也为车内智能化提供强有力的通信基础。本文主要分析了蓝牙的系统架构、车载蓝牙的应用以及相关测试等。未来随着汽车智能化和蓝牙技术的发展，车载蓝牙会在汽车智能座舱中发挥更加重要的作用。

参考文献

[1] Robin Heydon 著，低功耗蓝牙开发权威指南，北京：机械工业出版社，2014

[2] 毛剑飞 周雪 主编，物联网技术实践教程-基于蓝牙4，北京：清华大学出版社，2015

[3] Afaneh Mohammad, Intro to Bluetooth Low Energy， US, Novel Bits, 2018