

一种可应用于载人航天器的无线 话音通信系统

于世强¹, 陈晖照², 南洪涛¹

(1. 中国空间技术研究院 载人航天总体部, 北京 100094;
2. 中国空间技术研究院 第 513 研究所, 山东 烟台 264670)

摘要: 面向未来空间站等大型载人航天器, 传统的有线头戴式话音通信系统受电缆长度限制已无法满足航天员的应用需求; 为进一步提高航天员在轨工作的方便性, 提出了一种可应用于载人航天器的舱内无线话音通信系统, 该系统通过设置蓝牙无线语音适配器的方式, 在载人航天器现有话音系统的基础上实现了无线功能扩展; 相关测试试验表明, 该系统可支持多路无线语音通信, 语音清晰易懂, 且具备实时性高, 操作简便等优点, 可以满足航天员在轨语音通信使用需求。

关键词: 载人航天器; 蓝牙; 无线语音

A Wireless Voice Communication System Applicable for Manned Spacecraft

Yu Shiqiang¹, Chen Huizhao², Nan Hongtao¹

(1. Institute of Manned Space System Engineering, China Academy of Space Technology, Beijing 100094, China;
2. 513 institute, China Academy of Space Technology, Yantai 264670, China)

Abstract: For Large manned spacecraft, such as future space station, the traditional wired head voice communication system is unable to meet the application requirements of the astronauts due to the length limit of the cable. In order to improve the convenience of the astronauts in orbit, a wireless voice communication system in cabin for manned spacecraft is proposed, which realizes wireless function expansion on the basis of the existing voice system of the manned spacecraft by setting the Bluetooth wireless voice adapter. Test verifications show that the system can support multichannel wireless voice communication, clear voice can be heard through the system, and it has many advantages such as high real-time and easy operation. Astronauts' demands of voice communication on orbit can be satisfied by the wireless voice communication system.

Keywords: manned spacecraft; Bluetooth; wireless voice

0 引言

面向未来空间站等大型载人航天器^[1], 航天员在太空中的活动空间大幅增加, 有线头戴式话音通话系统受电缆长度限制, 已无法在航天器内各处随意使用; 另外航天员在太空中的驻留时间也大大加长, 长时间佩戴有线头戴会成为太空生活的一种负担^[2]。为了改进航天器的话音通信系统, 进一步提高航天员在轨工作的方便性, 本文设计了一种基于蓝牙的舱内无线语音系统, 使航天员在航天器内部空间范围内任何位置时, 随时可以通过无线语音系统进行天地语音通话, 同时也可支持航天员之间的相互通话。

1 无线语音系统总体方案设计

1.1 传输技术体制选择

目前应用于无线音频传输的无线通信技术主要分为红外、模拟射频和数字射频三类方式^[3]。红外音频传输方式

简单可靠, 无电磁污染, 各类红外无线音频商业产品应用广泛, 但红外数据传输的缺点是传输距离较近, 不具有穿透障碍物的能力, 传输方向性要求高, 且易受光源干扰, 故其在使用上受到的约束较多, 该技术当前也正逐渐被数字射频传输技术所取代; 基于射频的模拟无线音频技术从 20 世纪初发明至今, 已广泛应用于包含军事在内的各个领域, 但时至今日该技术已相对落后, 受带宽所限其音质普遍不佳, 且极易收到干扰, 也不适于应用在航天器无线语音通信系统中。

基于射频的数字无线音频技术是近年来正高速发展的一类新兴技术, 其典型代表包括蓝牙、zigbee、wifi 等, 其中 zigbee 技术受限于传输速率不能提供高质量的话音通信, 而 wifi 技术虽然数据传输速率较高, 但其耗电量远高于蓝牙和 zigbee。相比之下, 蓝牙技术能够以较低的功耗在有效范围内实现高质量语音通信, 因而成为航天器无线语音通信系统技术体制的首选方案。

蓝牙技术是一种可实现语音和数据无线传输的全球开放性标准。它使用跳频扩谱、时分多址、码分多址等先进

收稿日期: 2018-04-13; 修回日期: 2018-06-11。

作者简介: 于世强(1981-), 男, 北京人, 工程师, 硕士研究生, 主要从事航天器信息系统设计方向的研究。

技术,具备体积小、功耗低、接口标准开放等技术优势^[4]。蓝牙通信使用 2.4 GHz 的 ISM 频段,基带传输速率为每信道 1 Mbps,支持 64 kbps 的实时语音传输和各种速率的数据传输,其协议规定了包括传输协议层、中间协议层和高端应用层等三层协议体系^[5]。利用蓝牙技术,能够快速有效地建立移动通信终端设备之间的通信,使无线数据传输变得迅速高效。

做为一种开放性全球规范,蓝牙技术已广泛应用于各类无线通信系统中^[6],但目前尚没有对蓝牙技术在载人航天器这一特殊环境中进行应用的系统研究。本文基于蓝牙无线通信技术设计了一套舱内无线语音系统,可以满足载人航天器内航天员的使用需求。

1.2 总体技术方案

载人航天器语音通信系统是由中继卫星前向与返向信道构成的高质量天地语音回路。语音处理设备作为语音系统的核心,负责接收各个航天员的模拟语音进行语音编码并送测控通信设备下行,同时将地面发送的语音数据进行解码形成语音信号输出。

通过在载人航天器语音通信系统中增设无线语音适配器,可以实现语音系统的无线功能扩展。将无线语音适配器与语音处理设备的话音插座间通过音频电缆连接,并将无线头戴与无线语音适配器通过蓝牙微微网建立无线连接,即可实现无线语音通话。在该系统中,无线语音适配器是蓝牙微微网中的主节点,它在系统中的功能为无线音频网关(wireless audio gateway, WAG),可将与无线头戴间的数字无线信号转换为与语音处理设备间的模拟信号;无线头戴是蓝牙微微网中的从节点,可使用标准蓝牙耳机实现其功能。

根据蓝牙协议,一个蓝牙微微网的拓扑结构可以支持 1 个主节点和 7 个活动的从节点保持连接,但在这个一对七的蓝牙微微网中,主节点虽然可同时与多个从节点保持 ACL (asynchronous connection-less) 数据传输链路,但同一时间内它只能与一个从节点进行实时语音通话,其他从节点的语音通话要求均会被拒绝;且当主节点与其中一个从节点进行语音通话时,该从节点也不能与和其处于同一微微网的其他从节点进行实时语音通话^[7],故仅通过蓝牙组网的方式无法满足多名航天员同时通话的需求。

为实现多名航天员同时与地面通话,以及航天员之间通话的功能,本方案采用了在语音处理设备内部将模拟语音信号进行混音的处理方式。如图 1 所示,经解码后的地面上行语音直接送各路语音通道输出端;而各路航天员下行语音在送往编码模块的同时,也送入其他航天员语音通道输出端,即可实现各路语音的互通。

舱内无线语音系统总体技术方案如图 2 所示,每个无线语音适配器同时只与一个预设的无线头戴配对,配对后,无线语音适配器和无线头戴间即可无线传递舱内航天员话

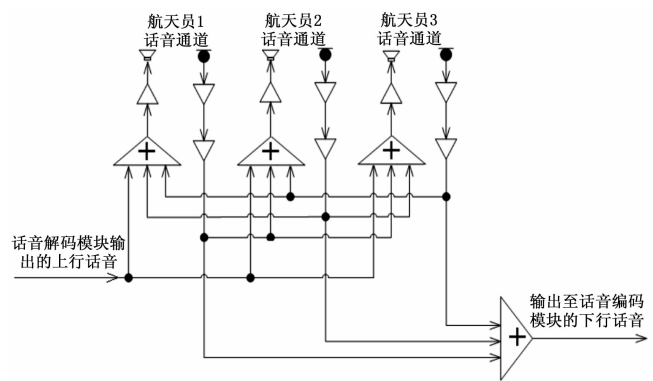


图 1 语音处理设备混音处理示意图

音数据。无线语音适配器分别将各路语音通道下行的语音模拟信号输出送入语音处理设备,并接收语音处理设备上行语音信号,通过蓝牙微微网送入无线头戴。多路无线语音适配器可同时工作,每路各占用一个航天员语音通道,上、下行语音均在语音处理设备内部实现混音,最终实现多名航天员同时与地面进行无线通话。

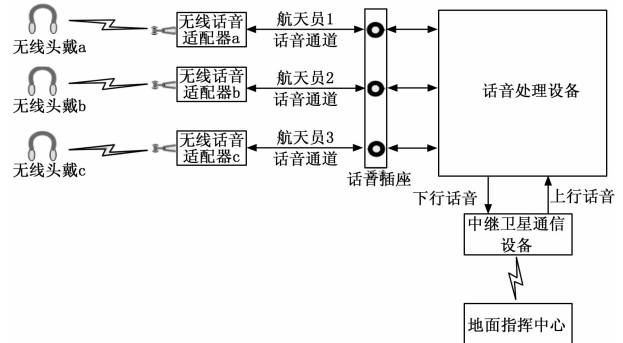


图 2 舱内无线语音系统总体方案示意图

2 无线语音适配器硬件设计

舱内无线语音系统的核心设备为无线语音适配器,其主要功能包括蓝牙信号收发、音频编解码处理以及音频信号的接口转换。

无线语音适配器采用 CSR (cambridge silicon radio) 公司提供的 BC05-MM 蓝牙模块实现蓝牙信号收发及音频编解码处理的功能,该模块是一种集成基带处理和射频收发功能的蓝牙单片集成电路,支持蓝牙 4.0 标准,并具有向下兼容性,可同时完全兼容 3.0、2.1 和 2.0 等低版本蓝牙标准协议;它支持 Kalimba DSP 开发平台,可实现各种高质量音频的处理功能;芯片中的 ADC 和 DAC 为 16 位,可实现高质量立体声音频的直接处理^[8]。

BC05-MM 蓝牙模块的主要功能组成及对外接口如图 3 所示,其中 2.4 GHz 无线通道模块为射频电路,负责无线信号收发;RAM 中的缓冲区可实现蓝牙无线传输过程中的数据交换;Flash 模块主要存储蓝牙配置参数;DSP 用来实现音频传输过程中的编解码及语音算法;MCU 模块可编写

应用层的应用程序, 实现对蓝牙协议和应用模式的调用以及对接口的控制; 音频编解码模块可实现音频数据流信息的编码和解码, 通过音频输入/输出接口电路与航天器语音处理设备连接; 输入输出接口用以扩展存储器容量; LED 驱动模块可驱动 LED 灯提示蓝牙模块的工作状态; 电量检测电路用于监视电池的电量。

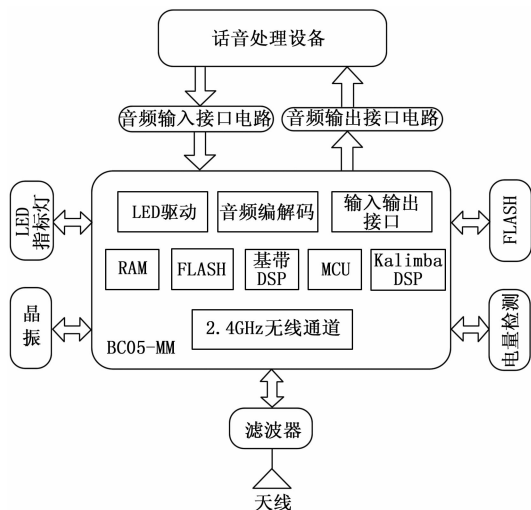


图 3 BC05-MM 芯片的模块组成及对外接口

为实现无线语音通信系统与载人航天器现有语音系统的兼容工作, 无线语音适配器需要将语音处理设备输入输出的音频信号进行接口转换, 其处理流程如图 4 所示。上行语音模拟信号经过音频输入接口电路和 AD 采集器进入数字信号处理电路; 数字音频输出信号经过数模转换器、低通滤波器和音频输出接口电路后, 最终输出下行语音模拟信号。

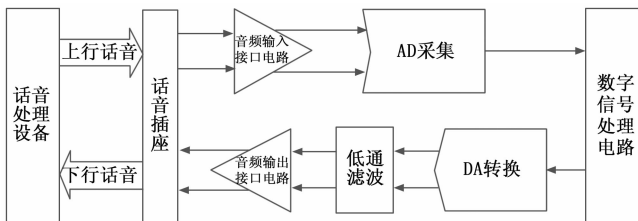


图 4 音频信号接口转换处理流程

音频输入接口电路主要是对来自语音处理设备的音频输入信号进行降压处理以适应 BC05-MM 的音频编解码模块输入电压范围, 音频输出接口电路主要是对来自蓝牙收发模块的音频信号进行放大处理以满足语音处理设备输入要求。低通滤波电路的用途是滤除音频信号中夹杂的高频开关信号和电磁干扰信号, 降低总谐波失真。音频信号的频率在 20 Hz~20 kHz, 而开关脉冲信号和电磁干扰信号的频率约为几百 kHz, 故可选用在音频通带内具有平坦特性的低通滤波器, 本方案采用了二阶 LC 型巴特沃斯滤波器。

通过对上、下行语音信号的接口匹配设计, 无线语音

通信系统可以直接连接载人航天器语音插座使用, 实现了所有语音插座均可以任意与无线语音适配器连接或与有线头戴连接。

本系统通过蓝牙传输语音信号采用的是面向连接的同步传输 (synchronous connection oriented, SCO) 链路^[9], 根据蓝牙通信协议, 在 SCO 链路上传送语音数据时, 数据包没有 CRC 校验功能, 也不会丢包时重新发送, 当蓝牙链路受到干扰出现丢包, 会导致系统产生杂音。为降低蓝牙链路的丢包率, 将蓝牙模块的天线设计由微带天线改为陶瓷天线, 可将系统增益提高 2~3 dB, 有效改善通话质量。

无线语音适配器对语音信号的处理流程为: 语音处理设备以模拟量的形式向无线语音适配器输出地面上行的语音信号, 经音频输入接口电路转换后, 送往 BC05-MM 芯片的音频编解码模块进行 A/D 变换, 变换后的数字语音信号经基带处理器组帧并通过 2.4 GHz 无线通道发送至无线头戴; 从无线头戴发送来的航天员下行数字语音信号通过 2.4 GHz 无线通道和基带处理器送至音频编解码模块进行 D/A 变换, 变换后的模拟语音信号经音频输出接口电路转换后, 输出至语音处理设备进行编码并通过测控通信设备下行。

3 无线语音适配器软件设计

3.1 动态语音信号增强算法

蓝牙通信系统采用跳频工作体制, 发射频率在 79 个跳频频点之间伪随机选择。每路无线语音适配器与无线头戴组成一个微微网, 各个微微网之间相互独立。如果在同一区域内存在多个蓝牙微微网, 在某一时刻两个或多个微微网的蓝牙射频频率相同 (或者相近), 这时一个微微网中的蓝牙单元跳频点与另一个微微网中的蓝牙单元跳频点所使用的频率发生重合, 两者的数据包会在时序上发生同频碰撞 (或邻频碰撞)。由于蓝牙传输语音信号采用的是 SCO 链路, 语音数据包不会因干扰而重新发送, 此时蓝牙解调就会出现较大的误码率。随着蓝牙微微网的数量增多, 频率碰撞的概率将会增大。当航天器内多名航天员同时通过无线语音系统进行通话时, 频率碰撞概率增大, 会导致音频数据传输误码进而引发偶发噪音, 影响航天员的通话质量。

为解决上述问题, 在无线语音适配器的 DSP 中植入了用于噪声抑制的语音算法模块, 该算法采用了一种基于改进型谱减法的噪声抑制算法^[10], 利用已知的噪声功率谱信息, 从带噪语音谱分量中估计出纯净语音谱分量, 并借助带噪语音相位得到增强的语音信号。

假设语音信号为平稳信号, 噪声和语音信号不相关, 则带噪语音信号可表示为:

$$y(n) = s(n) + d(n) \quad (1)$$

式 (1) 中, $y(n)$ 为带噪语音信号, $s(n)$ 为纯净语音信号, $d(n)$ 为加性噪声信号。对于实际语音信号, 可近似认为其在短时间内是平稳的, 故对单帧语音信号可表示为:

$$y_w(n) = s_w(n) + d_w(n) \quad (2)$$

如果用 $Y_w(\omega)$ 、 $S_w(\omega)$ 、 $D_w(\omega)$ 分别表示 $y_w(n)$ 、 $s_w(n)$ 、 $d_w(n)$ 的傅里叶变换, 并将无语音时 $|D_w(\omega)|^2$ 的统计平均值记为 $\lambda_n(\omega)$, 则该噪声抑制算法的公式可以表示为:

$$|S_w(\omega)|^\alpha = |Y_w(\omega)|^\alpha - \beta \lambda_n^\alpha(\omega) \quad (3)$$

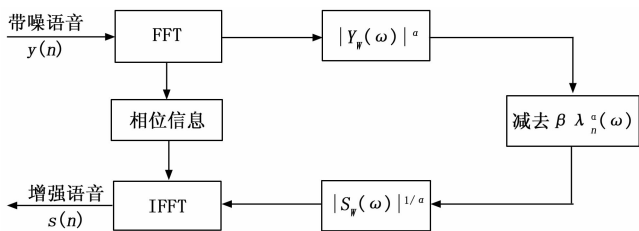


图 5 噪声抑制算法原理框图

降噪算法流程如图 5 所示, 带噪声语音经傅里叶变换后在相应频段减去噪声, 再借由带噪声语音的相位信息进行傅里叶反变换得到增强的语音信号。算法中引入了 α 、 β 两个参数, β 作为被减项加权值可以在某些频段强化去除噪声的效果, α 作为功率谱修正系数可以更好地突出语音的功率谱。通过调节 α 、 β 的参数值, 可以去除复合信号中的噪声, 有效提高语音信号质量。

3.2 蓝牙应用层软件设计

无线语音适配器利用软件应用层实现了蓝牙免提(hands-free profile, HFP)协议^[11], 定义无线语音适配器为音频网关(audio gate, AG), 无线头戴为免提终端(hands free, HF)。由于无线语音通信系统应用场景的特殊性, 每台无线语音适配器配置两个专用无线头戴, 无线头戴地址提前预存到无线语音适配器中, 为加快链路建立的速度, 软件流程设计如下: 无线语音适配器加电初始化完成后, 如果不通过手动操作进入手动搜索模式, 则直接等待专用无线头戴的连接, 此时打开相应的专用无线头戴, 将在 2 s 内建立连接, 系统即可投入使用; 在无线头戴关闭后, 系统再次进入等待连接的状态, 当专用无线头戴再次开机, 系统仍可在 2 s 内快速建立连接。在实际使用时, 无线语音适配器和相应的专用无线头戴只要一开机, 即可自动快速配对工作, 无需手动逐一配对, 两台专用无线头戴循环充电使用。

如果需要配对新的无线头戴, 在无线语音适配器加电初始化完成后, 通过手动操作无线语音适配器上的配对按钮使软件进入手动搜索模式, 之后将无线头戴也设置为配对模式, 配对成功即可正常通话; 如果在 10 s 时间内未配对成功, 则软件会退出手动搜索模式, 再次进入等待连接状态。语音网关软件设计流程图如图 6 所示。

4 系统测试

利用语音处理设备模拟件搭建测试系统, 设备连接简图见图 7。在该系统中, 语音处理设备模拟件对各路语音具备混音功能, 故任意一只无线头戴发送的语音信号经该路

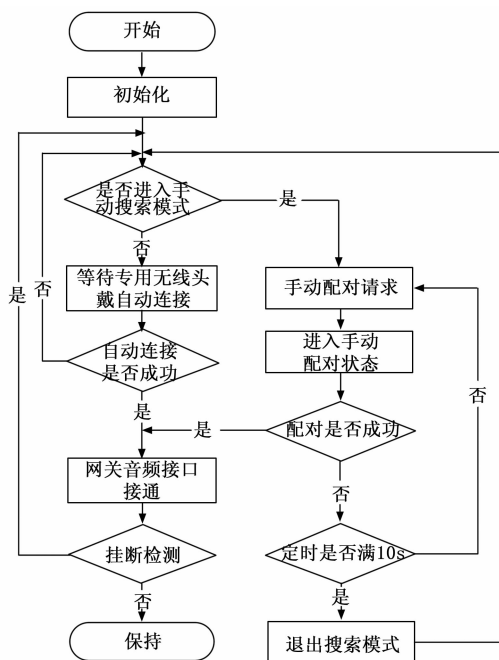


图 6 语音网关软件实现流程图

无线语音适配器送入语音处理设备模拟件后, 其他各路无线语音适配器均可接收到该语音信号并将其送至各个无线头戴。测试时, 将无线语音适配器与相应无线头戴开机, 确认蓝牙无线连接正常建立后, 每个测试人员各戴一个无线头戴, 依次进行发话测试, 由其他各测试人员确认收听效果。测试在 5 m 通信距离和 15 m 通信距离上分别进行, 覆盖了 1 路~4 路同时使用的 4 种工况。

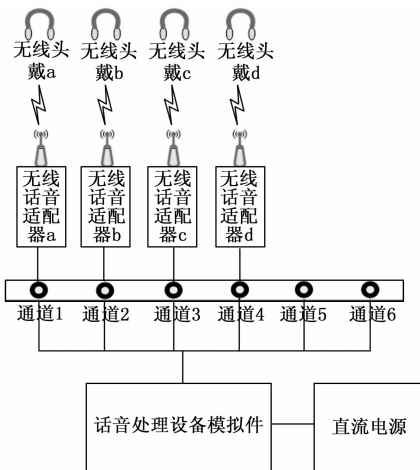


图 7 无线语音通信系统测试设备连接简图

测试结果如表 1~2 所示, 各测试工况下均无主观可见的语音延迟; 在 5 m 通信距离时, 各路语音音质良好, 在 15 m 通信距离时, 各路语音均有轻微失真, 另外随着同时使用无线语音路数的增加, 会出现少量由于蓝牙频率碰撞导致的杂音, 语音的轻微失真和少量杂音均不影响语音的可懂性。