

一种新型列车通信系统的研究

王传丹* 夏超时 干学斌

(电子科技大学通信抗干扰技术国家级重点实验室 成都 610054)

【摘要】以国内现有的运营列车广播线作为通信信道,采用软、硬件结构与设计,建立以数字语音压缩为基础的列车旅客报警及内部通信系统,确保系统的适应性与工作的稳定可靠性。该系统能在各种情况下,及时响应乘客及乘务人员发出的各种报警信息,以无线寻呼方式立即通知列车三乘人员(乘警、列车长、安检员)及乘务员进行处理;并能在列车任意编组时,组成列车内部通信系统,实现各乘务室相互间的拨号呼叫及语音通信。

关键词 有线通信; 语音压缩; 数字通信; 列车报警; 寻呼

中图分类号 TN913 文献标识码 A

Study on a Novel Train Communication System

Wang Chuandan Xia Chaoshi Gan Xuebin

(National Key Laboratory of Communication, UEST of China Chengdu 610054)

Abstract This paper describes the design and implement of train's internal alarm and communication system based on digital voice compressing techniques by software and hardware designing methods, using the broadcast line in the civil old type train running currently as communication channel. The system has high stability and variability, can process warning signals and notice workers in the train on time, can construct an internal voice communication system for every carriage between each other at any time.

Key words wire communication; voice compressing; digital communication; train alarm; paging

1 列车通信系统的需求背景

在我国目前运行的列车中,具备现代通信设备的新型列车,数量不到10%,大多是未铺设通信线路、且不便重新布线的旧型列车,在短时间内,它们不可能被完全淘汰、更换。为了适应社会发展的需要、提高服务质量、确保乘客及工作人员的人身安全、提高工作效率,迫切需要提供一种通信系统,解决这部分列车的内部通信及旅客安全报警问题。

通信系统的建立,首先要解决通信信道,如重新铺设线路,因投入、规划、涉及面等问题,是不可行的。而采用无线通信,由于列车运行过程的复杂、多变性,要使系统在列车运行中均能满足通信要求,也有很大难度,因此,只能利用现有条件建立系统。在现有信道条件中,只有电源线及广播线可供选择。各车厢电源相互独立,不适用于作信道使用,只能利用广播线作为通信信道。列车广播线具有以下特点:

- 1) 音频信号强: 音频广播信号的峰-峰值高达上百伏。
- 2) 现有检测信号的影响: 广播线上已有133 kHz的轴温检测信号,与本系统不能产生相互影响。
- 3) 电路衰减大: 为保证列车车轴轴温检测信号的正常传输,各节车厢均加有高频衰减电路。

2003年8月29日收稿

* 男 39岁 在职博士 讲师 主要从事个人通信技术方面的研究

- 4) 阻抗变化大：不同车辆的阻抗不同。
 - 5) 电力机车干扰大：电力机车运行时，将产生频谱范围很宽、幅度较大的干扰信号。
 - 6) 系统不固定：由于存在车辆编组及检修维护，系统组成经常变化。
 - 7) 列车运行环境复杂多变：列车运行所经之地众多，环境经常变化，对系统影响很大。
- 由于各种因素的影响，一直没有切实可行的方法解决这部分列车的旅客报警及内部通信问题。

2 系统功能及指标

2.1 系统功能

1) 报警寻呼及报警对话功能：各车厢及分机设有对三乘人员的报警按钮，启动任意按钮时，系统及时以寻呼方式将报警类型及车厢位置等信息通知三乘人员；也可以拨号寻呼方式寻呼配备专用寻呼机的工作人员。报警后，任一分机均可与报警分机对话，以便三乘人员通过最近分机及时了解警情。

2) 通话功能：系统具有相互拨号、通话、会议电话及多方通话等功能。

2.2 系统指标

表1 系统主要技术指标

| 参数 | 指标 | 参数 | 指标 |
|--------|--------------|----------|------------------------------|
| 分机数 | ≤20 | 最多同时说话数 | 4 |
| 分机入网时间 | ≤5 min | 寻呼用户数 | 100 |
| 控制信道数量 | 1 | 控制信道工作方式 | 时分双工 (TDD) |
| 话音信道数量 | 上行4 下行1 | 话音信道工作方式 | 频分双工 (FDD) |
| 话音数据率 | 2.4/4.8 Kbps | 数据纠错方式 | 信令自动重传请求(ARQ) 话音前向纠错(FEC) |

3 系统硬件设计及实现

3.1 系统结构

系统采用中心控制、主从方式、总线结构，如图1所示。

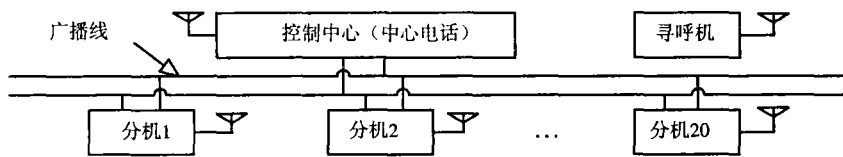


图1 系统结构

系统由控制中心、分机电话及寻呼机组成，各部分功能如下：

- 1) 控制中心：系统控制、信道分配、寻呼转发、号码转发、分机电话。
- 2) 分机电话：拨号显示、报警、寻呼、多方通话。
- 3) 寻呼机：寻呼信息接收显示。

拨号或报警信息由分机发送给控制中心，控制中心转发给各分机，各分机通过各自的寻呼发送模块发送寻呼信息，再由被寻呼的寻呼机接收、给出声响或振动提示。

系统设计结构具有以下优越性：

- 1) 结构简单：分机在中心控制下，实现入网、拨号呼叫、报警寻呼等功能，系统结构简单、控制容易。
- 2) 成本低廉：分机控制功能简单、成本较低，降低了实现成本，使整个系统具有较高推广使用价值。

3.2 系统实现

分机由控制电路与语音处理电路组成，相对独立。电路结构如图2所示。图中上半部分是由单片机构

成控制电路^[1]，下半部分是话音处理电路。控制电路始终处于工作状态，话音处理电路仅在摘机(或免提)后方能工作。控制信道以TDD方式工作，信号由耦合电路输入输出^[4,5]。下行信号经滤波放大电路输入，经“数字调制/解调”恢复成基带数字信号，并由“控制电路”处理。上行信号在“控制电路”的控制下，形成信令帧，经调制、滤波、放大后耦合输出；话音信道以FDD方式工作，下行1个信道，上行4个信道，由“控制中心”分配。电路各部分为：

控制电路：负责整个分机电路的控制工作。

键盘：由数字键“0”~“9”及6个报警/功能键组成，分机及乘务室外均有相同报警键。

显示：号码显示及各种状态指示，显示拨号号码或主叫号码。

寻呼发射：发射控制中心转发的报警寻呼信息。

调制解调：数据信息与载波的相互转换。

滤波放大：滤除带外信号、降低相互干扰；放大所需信号、提高传输距离。

耦合：完成信号耦合、隔离、消侧音等功能。

话音输入输出：由分机及乘务室外的麦克风、喇叭组成。

话音处理AD/DA：完成模拟话音与PCM数字话音的相互转换。

数字语音处理：语音压缩、恢复、语音激活、信道编解码，每20 ms一帧，数据率2.4~4.8 Kbps可选。

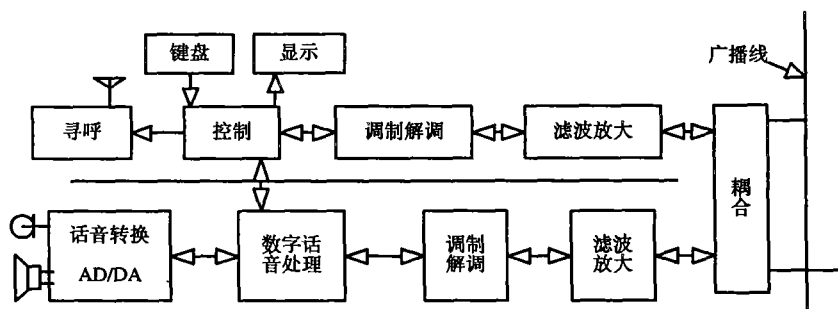


图2 分机硬件结构

控制中心与分机结构大致相同，话音接收信道为4路，与中心的话音合路后由下行信道发送出去。

4 系统控制设计及实现

4.1 信息传输方式及帧结构

4.1.1 控制信道信息传输方式及帧结构

控制信息采用专用控制信道传输。上行控制信道传输拨号、信道分配请求等信息。分机以时分方式共享该上行控制信道，以保证话音信道的及时获得；下行控制信道传输控制中心发出的各种控制信息或拨号呼叫信息。

话音信息传输上行为点对点通信，将分机话音传输给控制中心；下行为广播通信，将控制中心的话音或与分机的叠加话音送往各分机。由于系统信道带宽有限，无法满足每一用户分配一条上行话音信道，因此，通话中用户所需上行话音信道只能采用语音激活、动态分配的方式实现，以提高信道利用率。控制信道帧结构如图3所示。

上行信道分20时隙(S1~S20)，每时隙5 ms，按入网顺序分配给各分机使用，发送请求/响应消息；未用时隙为空闲时隙，供分机入网请求使用；已入网分机脱网后，中心重新分配已入网分机所用时隙。下行信道所传“中心命令”时间为25 ms；一帧为130 ms，中间有5 ms收/发转换及处理时间。

4.1.2 入网成功概率与时间

分机开机后，根据中心所发入网邀请，在入网邀请中所指明的后随空闲时隙内，随机发出入网请求。控制信道对入网请求的处理能力与时隙ALOHA类似^[2,3]，若空闲时隙及入网分机为 N ，则可更准确估计为：

每次入网邀请，至少一个分机入网成功的概率为： $P_{1-1成功}(N) \geq [(N-1)/N]^{(N-1)}$

每次入网邀请，没有一个分机入网成功的概率为： $P_{1-1失败}(N) \leq 1 - [(N-1)/N]^{(N-1)}$

连续M次入网邀请, 没有一个分机入网成功的概率为

$$P_{M-1失败}(N) \leq \{1 - [(N-1)/N]^{(N-1)}\}^M$$

连续M次入网邀请, 至少一个分机入网成功的概率为

$$P_{M-1成功}(N) \geq 1 - \{1 - [(N-1)/N]^{(N-1)}\}^M$$

若时隙及分机数 $N=1 \sim 20$, $M=10$ 时, 则有

$$\begin{aligned} N=20: P_{1-1成功}(20) &\geq 0.377, & P_{1-1失败}(20) &\leq 0.623, & P_{10-1成功}(20) &\geq 0.991; \\ N=2: P_{1-1成功}(2) &\geq 0.5, & P_{1-1失败}(2) &\leq 0.5, & P_{10-1成功}(2) &\geq 0.999; \\ N=1: P_{1-1成功}(1) &= 1, & P_{1-1失败}(1) &= 0, & P_{10-1成功}(1) &= 1. \end{aligned}$$

所以, 在经过大约 $20 \times 10 = 200$ 次入网邀请后, 20个分机全部入网成功的概率为:

$$P_{成功}(20) = P_{10-1成功}(20) \times P_{10-1成功}(19) \times \dots \times P_{10-1成功}(2) \times P_{10-1成功}(1) \geq 0.9$$

中心每1 s内至少发出一次入网邀请, 则200次入网邀请所需时间为200 s, 可保证在300 s(5 min)内完成全部分机的入网。实际工作中, 各分机常常在不同时间开机入网, 而分机重新入网时, 同时入网分机数远小于最大入网分机数, 入网时间均会更短。

分机入网成功, 分配一专用时隙, 用于语音信道申请、号码、报警、响应等信息的发送。

4.1.3 语音信道动态分配

分机入网后, 用户摘机说话时语音激活、信道申请由所分配时隙发送, 中心动态分配语音信道, 由于时隙专用, 不会发生碰撞, 在信道传输可靠前提下, 信道动态分配能及时、可靠完成。

4.1.4 语音信道信息传输方式及帧结构

下行语音信道: 以广播方式发送由各分机产生的语音与控制中心的多路叠加语音信息。

上行语音信道: 按语音激活申请语音信道, 未用或超时收回语音信道。

上下行语音信道帧结构相同, 每20 ms语音转换为48 bit数据及48 bit的FEC数据或96 bit语音数据。语音信道帧结构如图4所示。

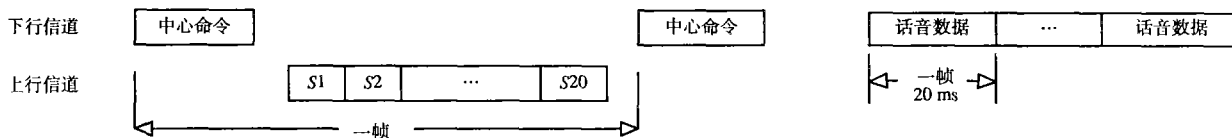


图3 控制信道帧结构

图4 语音信道帧结构

4.2 信令类型

4.2.1 控制信道信令类型

上、下行控制信道信令/响应如表2所示。

表2 上、下行控制信道信令/响应

| 信令类型 | 功能 | 信令类型 | 功能 |
|---------|---------------|--------|-----------------|
| 状态查询 | 查询各入网分机当前状态 | 入网请求 | 分机请求入网、申请注册 |
| 入网邀请 | 邀请分机发出入网请求 | 状态报告 | 响应“状态查询”命令 |
| 登记邀请 | 邀请分机发登记信息 | 拨号寻呼 | 发出拨号或寻呼号码 |
| 登记成功 | 确认与时隙分配 | 信道申请 | 分机语音激活后, 申请语音信道 |
| 号码转发 | 转发被呼号码或报警寻呼号码 | 信道转换确认 | 分机确认语音信道分配 |
| 信道分配 | 为分机动态分配信道 | 信道放弃 | 分机确认或申请停止使用信道 |
| 信道回收 | 收回分机未用或超时使用信道 | 摘机/挂机 | 摘机/挂机状态请求 |
| 摘机/挂机确认 | 摘机/挂机请求的确认 | 登记参数 | 发送登记参数 |

4.2.2 主要状态转移流程

分机及控制中心工作过程较为复杂, 以分机为例, 工作过程主要有“入网登记”、“拨号/报警/寻呼”、“摘

“摘机/挂机”、“语音激活信道分配”、“信道回收”等；状态主要有“入网登记状态”、“入网通信守候”、“摘机守候”、“通话状态”等。分机主要状态转移流程如图5所示。

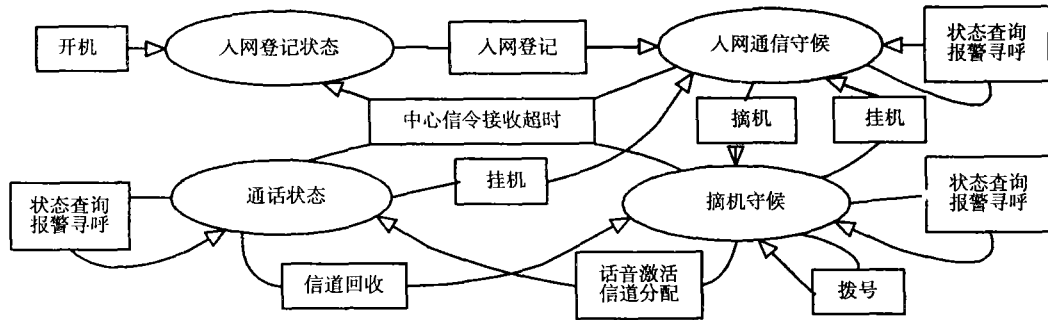


图5 分机状态转移流程

5 测试结果

系统在一列有14节车厢的运行列车上动态测试，主要测试结果如表3所示。

表3 主要测试结果

| 测试项目 | 测试结果1 | 测试结果2 |
|------------|------------------------------|-------------------------------|
| 分机平均开机入网时间 | <3 s(1分机) | <3 min(20分机) |
| 误码率 | <10 ⁻⁶ (收发间隔1节车厢) | <10 ⁻⁴ (收发间隔13节车厢) |
| 语音质量 | ≥3.5级(距控制中心1节车厢) | ≥3级(距控制中心13节车厢) |
| 拨号呼叫、报警、寻呼 | 功能正常，响应时间<2 s | |
| 双方及多方通话 | 功能正常 | |

6 结束语

利用本文介绍的设计方法，研制开发了一套列车报警与通信系统，各项指标及功能均达设计要求，可在列车实际运行过程中的各种情况下，正常通信及报警寻呼，列车编组后能自主构成系统，恢复正常功能，实际使用效果完全能满足需要。

参 考 文 献

- [1] 涂时亮, 张友德. 单片微机控制技术[M]. 上海: 复旦大学出版社, 1994
- [2] 王秉钧, 王少勇, 孙学军. 通信系统[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 1999
- [3] Rappaport T S. Wireless communications: principles & practice[M]. USA Prentice-Hall, Inc, 1996
- [4] 陈麟书, 曹海燕, 张宏敏. 配电网自动化中的载波通信技术[J]. 继电器, 2002, 30(2): 25-28
- [5] 梅登华, 胡敏强, 邓建勇, 等. 配电网载波通信系统的实现[J]. 电网技术, 2002, 26(7): 81-83

编辑 漆蓉