INFORMATION SCIENCE AND ENGINEERING RESEARCH

Nanyang Academy of Sciences Pte. Ltd.
Tel.:+65 65881289
E-mail:contact@nassg.org
Add.:12 Eu Tong Sen Street #07-169 Singapore 059819

2737-4815 01
9 772737 481223

信息科学与工程研究 INFORMATION SCIENCE ANDENGINEERING RESEARCH

Volume 3 Issue 1 March 2022 ISSN 2737-4815(Print) 2737-4823(Online)

信息科学与工程研究

Information Science and Engineering Research

Volume 3 Issue 1 March 2022 ISSN 2737-4815(Print) 2737-4823(Online)

NASS
NAN YANG ACADEMY OF SCIENCES

《信息科学与工程研究》为全球电子信息与工程同行发表有创见性的学术论文，介绍有特色的科研成果，探讨有新意的学术观点提供理想园地，扩大国际交流。以从事电子信息技术开发的科研人员、工程技术人员、各大专院校师生、计算机爱好者为主要作者和读者群体。本刊是一本拥有高水准的国际性同行评审团队的学术期刊出版物，编委鼓励符合本刊收稿范围的，有理论和实践贡献的优质稿件投稿。

为满足广大科研人员的需要，《信息科学与工程研究》期刊文章收录范围包括但不限于：

· 通信与安全
· 指导与传感技术
· 计算机网络
· 计算机应用技术
· 信息科学
· 电子通信工程

版权声明/Copyright

南洋科学院出版的电子版和纸质版等文章和其他辅助材料，除另作说明外，作者有权依据Creative Commons国际署名－非商业使用4.0版权对于引用、评价及其他方面的要求，对文章进行公开使用、改编和处理。读者在分享及采用本刊文章时，必须注明原文作者及出处，并标注对本刊文章所进行的修改。关于本刊文章版权的最终解释权归南洋科学院所有。

All articles and any accompanying materials published by NASS Publishing on any media (e.g. online, print etc.), unless otherwise indicated, are licensed by the respective author(s) for public use, adaptation and distribution but subjected to appropriate citation, crediting of the original source and other requirements in accordance with the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0) license. In terms of sharing and using the article(s) of this journal, user(s) must mark the author(s) information and attribution, as well as modification of the article(s). NASS Publishing reserves the final interpretation of the copyright of the article(s) in this journal.

Nanyang Academy of Sciences Pte. Ltd.
12 Eu Tong Sen Street #07-169 Singapore 059819
Email: info@nassg.org
Tel: +65-65881289
Website: http://www.nassg.org

About the Publisher

Nanyang Academy of Sciences Pte. Ltd. (NASS) is an international publisher of online, open access and scholarly peer-reviewed journals covering a wide range of academic disciplines including science, technology, medicine, engineering,education and social science. Reflecting the latest research from a broad sweep of subjects, our content is accessible worldwide – both in print and online.

NASS aims to provide an analytics as well as platform for information exchange and discussion that help organizations and professionals in advancing society for the betterment of mankind. NASS hopes to be indexed by well-known databases in order to expand its reach to the science community, and eventually grow to be a reputable publisher recognized by scholars and researchers around the world.

Database Inclusion

Asia & Pacific Science Citation Index

Creative Commons

MyScienceWork

Google Scholar

Crossref

China National Knowledge Infrastructure

信息科学与工程研究

Information Science and Engineering Research

主　编

陈惠芳

浙江大学，中国

编　委

曾念寅　Nianyin Zeng

刘新华　Xinhua Liu

涂　锐　Rui Tu

李绍滋　Shaozi Li

刘士虎　Shihu Liu

马建伟　Jianwei Ma

朱昌明　Changming Zhu

刘超勇　Chaoyong Liu

1 浅析防雷技术在民航高山通信台站的应用
欧阳杰
4 基于物联网设备指纹认证方法
於志渊
8 Wi-Fi6 技术与产业发展分析
彭程 郑梦瑄 王爽 唐晶鑫
11 基于多元统计方法深入剖析客户满意度
黄孟川
15 飞控计算机数 / 模恒为 5V 故障机理分析
张丽 史增辉 耿静芬
18 浅谈低磨损马达线路板
石林国 陆云鹏 姜玉晋 黄根华 袁琛
21 城市交通信号与铁路信号发展比较于市政应用
高鑫

1 Analysis on Application of Lightning Protection Technology in Civil Aviation Communication Station
Jie Ouyang
4 Fingerprint Authentication Method Based on IoT Device
Zhiyuan Yu
8 Analysis on Wi-Fi6 Technology and Industry Development
Cheng Peng Mengxuan Zheng Shuang Wang Jingxin Tang
11 In-depth Analysis of Customer Satisfaction Based on Multiple Statistical Methods
Mengchuan Huang
15 Analysis of the Fault Mechanism of the Flight Control Computer's Digital/Analog Constantly 5V
Li Zhang Zenghui Shi Jingfen Geng
18 Discussion on Low-wear Motor Circuit Board
Linguo Shi Yunpeng Lu Yujin Jiang Genhua Huang Chen Yuan
21 Comparison of Urban Traffic Signal and Railway Signal Development for Municipal Applications
Xin Gao

 DOI: https://doi.org/10.12349/iser.v3i1.571

Analysis on Application of Lightning Protection Technology in Civil Aviation Communication Station

Jie Ouyang

Technical Support Department, Civil Aviation Yunnan Air Traffic Control Branch, Kunming, Yunnan, 650200, China

Abstract

Based on the lightning protection technology and experience of indoor computer rooms and outdoor antennas in high mountain environments, this paper analyzes the common lightning strike methods and specific lightning protection measures for communication equipment and computer rooms. The above analysis results can provide a certain reference for the construction, operation and maintenance of lightning protection facilities in high mountain stations.

Keywords

alpine station; lightning protection technology; lightning strike

浅析防雷技术在民航高山通信台站的应用

欧阳杰

民航云南空管分局技术保障部，中国·云南 昆明 650200

摘　要

在民航无线通信领域中，经统计，雷击是破坏无线电电子通信设备的首要因素。在民航边远高山台站建设和设备安装过程中，要特别注意做好雷击的防范措施。不然会直接影响生产安全，甚至威胁到人身安全。论文结合在高山环境下室内机房及室外天线防雷技术及经验，分析了通信设备和机房常见的雷击方式及具体的防雷措施。上述分析结果可以为高山台站的防雷设施建设、运行及维护提供了一定的参考。

关键词

高山台站；防雷技术；雷击

1 引言

雷电是一部分带电的云层与另一部分带异种电荷的云层，或者是带电的云层对大地之间迅猛的放电。这种迅猛的放电过程可产生电压高达 100 万伏特到 1 亿伏特不等，瞬间电流可以超过 10 万安培，温度 2 万摄氏度左右，单次放电时间在 0.01 到 0.001 秒，并且拥有强大的破坏力。足以摧毁台站内外各种监视通信设施和电气设备，甚至对人们的生命安全都会产生极大的威胁。云南地处云贵高原，地形地貌十分复杂，为了让通信监视设备具有更好的覆盖范围，这就驱使我们必须将通信监视设备安装在高山台站上。而云南气候基本属于亚热带高原季风型，干湿季节分明。在雨季时日温差大、气温随地势高低垂直变化异常明显。特别在高山地区，气流运动激烈，雷暴天气更加频繁。这对民航空管的高山台站防雷措施提出了更高的要求。

【作者简介】欧阳杰（1981–），男，中国湖南岳阳人，本科，高级工程师，从事VHF及HF应用研究。

2 高山台站防雷的重要性

民航云南空管分局目前所有雷达站均建设在当地高山的山顶上，平均海拔高度都在 2000m 至 3200m。大部分都处于高原多雷区，年平均雷暴天数都达到了 80 多天。由于甚高频及雷达天线处的位置较高，周边没有其他建筑物掩护，处于没有遮挡状态，在雷雨天气时，很容易受到雷击损坏。从而使得监视通信保障失效，严重的影响到了飞行安全。以一个中国云南的某高山雷达站为例，该台站投入使用后分别连续两年都发生了重大雷击事件，给空管设备造成了较大的损失，事故过后，维修人员及防雷工程师经过分析，对防雷系统进行了两次大规模的改造，改造过后至今再也没有发生雷击事件 [1]。

3 常见雷击方式及造成的影响

自然界的雷电主要分为直击雷和感应雷两种。直击雷是电的云层与大地上某一点之间发生迅猛的放电现象，可导致电子设备绝缘破坏，设备零件熔断。感应雷是带电云层由于静电感应作用，使地面某一范围带上异种电荷。当直击雷发生以后，云层带电迅速消失，而地面某些范围由于散流电

阻大，以致出现局部高电压，或者由于直击雷放电过程中，强大的脉冲电流对周围的导线或金属物产生电磁感应发生高电压以致发生闪击的现象，它会破坏与导体相连接的设备或器件引发故障，特别是室内信号系统设备，容易受冲击，如变压器、传输接口板等。

4 高山台站综合防雷的基本内容

我们在台站建设期间，要充分考虑设施设备防雷需求，采用铺设好一个完整的地网系统，架设合理的避雷针、做好信号线的电磁屏蔽、各个设备的等电位连接、接口保护、优化设备布线、接地工艺及绝缘配合等措施来完善防雷系统，降低雷击的损失。现以某雷达站防雷体系为例。该雷达站位于昆明西山上山顶较为开阔的地带并东临滇池，在雨季很容易出现雷雨天气。再加上雷达天线架设得比较高，容易受到雷击伤害。我们在建设雷达站建设时，就严格按照国家《建筑物防雷装置安全检测技术规范》与《民用航空通信导航监视设施防雷技术规范》的相关要求，结合台站环境、天线的分布等特点，系统化地设计和安装了一套防雷体系。如图 1 所示。

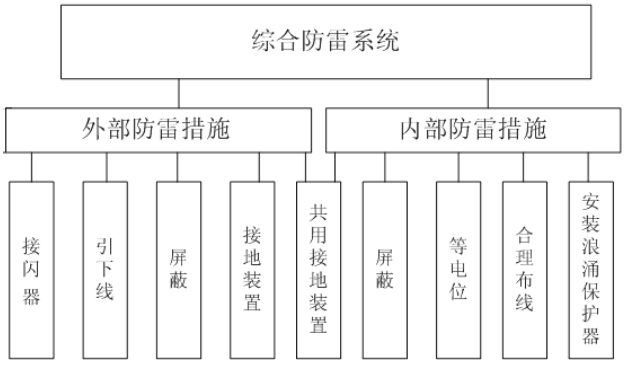

图 1 综合防雷系统

4.1 防直击雷及侧击雷，安装主放电避雷针

如果避雷针距天线和机房较近，当闪电劈到雷达天线塔上的避雷针上时，其所产生的强大电磁场会使雷达天线、传输线路、机房设备和相关信号线产生感应电流，将产生严重破坏。考虑到将带电雷云放电接闪尽可能远离雷达天线，我们在台站围墙外观光亭坡上安装一座钢结构架玻璃杆组合避雷针塔。钢塔上部平面高度控制在雷达天线俯角 2º 的范围内，在钢塔上再安装 18m 或 20m 玻钢避雷针。由于该针高出天线塔避雷针 10 余米，高空带电云将首先通过该针接闪主放电，这样就减少了雷达天线附近避雷针的接闪次数和接闪雷电流强度，从而降低了和雷达系统相关的设备雷害风险。该避雷针接地采用独立接地系统，且尽可能远离机房地网，按相关规范要求独立避雷针接地电阻不大于 10Ω[2]。

4.2 地网

沿围墙内建筑敷设 120m 水平接地体、埋设 20 根垂直接地体、安装 4 套电解离子接地系统、施放 4t 降阻剂做一圈地网。为了减少雷达塔避雷针接闪泄流引起的瞬间高地电位对机房地的冲击，将现铁塔接地点连好使这些泄流点远离机房地，同时将接闪器引下线接点接到远离机房地接地点，室外桥架，金属构件接地不与机房地共点。

4.3 供电系统 SPD 防护

要在高压线路上安装三相电源防雷器，在供电系统总配电箱两路市电入线端处，分别更换安装 1 套一、二级复合电源防雷器，在生活室和值班室各加 1 套三级单相电源防雷器，在市电的输入端、隔离稳压器的输出端、UPS 的输出端以及机房配电箱的输入端和各设备对应空开的输出端安装三相电源防雷器，在塔顶马达三相输入点安装一、二级复合三相避雷器，以保护各种生产生活设备。

4.4 信号线路 SPD 防护

4.4.1 方位数据编码线路的防护

在雷达铁塔房内方位数据编码器航空插头连接处串接带公母插座（头）的信号线路防雷箱。防雷器件选用德国 DEHN 公司电流环信号 SPD，对编码盘实施粗保护。将机房内“雷神”公司原配的信号防雷箱中的信号防雷器（线对线启动电压 15V，线对地启动电压 45V）更换成 DEHN 公司 BE C5 信号防雷器，该防雷器线对线和线对地启动电压均≤ 8 伏（5KA，10/350us），系电流环型。安装时将该防雷箱尽可能靠近被保护的编译码接口板，防止因导线过长而引起的感应雷电流(压),接地线选用铜编制软线就近接地[3]。

4.4.2 通信接口 SPD 防护

窄带波段微波，PCM 与一次雷达通信线路和监视记录仪，PCM 与二次雷达通信线路的串口 RS232 接口加装专用串口防雷器。

4.4.3 其他信号线路的 SPD 防护

从雷达塔引下的数十条监控信号线，在塔上的 Easat 箱和基座控制面板箱内安装信号 SPD，为了防止线路感应雷电流入侵到机房相关监控回路，在机房内该线路信号配线箱处对应并联安装信号 SPD。

4.5 屏蔽等电位连接

雷达塔至机房的油压、编码、监控线均用导电屏蔽铜箔缠绕后用 16mm^2 编织线与护线胶带紧扎穿入 ϕ60 镀锌钢管屏蔽，钢管外与 35mm^2 编织铜带就紧扎多点接地。

雷达机房内所有信号线路均用导电屏蔽铜箔缠绕多点就近接地。

①屏蔽铜箔以 1/2 或者 1/3 重叠紧绕在信号线上，间隔 3~5m，用不锈钢卡紧导电屏蔽铜箔，用编织铜线与桥架中的铜带可靠电气连接，电气连接点涂覆防腐蚀导电胶。

②桥架与敷设在桥架中的铜带间隔 5m 电气连接一次，桥架四角与室内等电位排和地面均压网可靠连接，每处桥架均用编织铜带可靠电气连接。

③桥架开口用铝板封闭屏蔽，并与桥架可靠连接。

④凡电气连接点均涂覆防腐蚀导电胶。

⑤进入机房的电缆等屏蔽层在室外外墙面就近与地网可靠连接。

5 雷击案例分析

故障现象：某日云南分局某雷达站发生雷暴天气，该雷达站经管制同意后实施防雷关机。技术人员按防雷关机流程关闭雷神二次雷达，并断开电源空开和外部连接线缆。次日凌晨雷雨天气消退后，进行开机操作，开机发现雷神二次雷达出现告警，无法正常工作。经技术人员全面梳理排查后，发现本次雷击共导致4项设施设备故障或损坏：发现雷神二次雷达天线系统中的方位组件故障；安防系统故障；靖安线终端杆至台站的埋地电缆A相接地；雷达塔一根避雷针故障，接闪器脱落。

雷达天线系统遭雷击原因分析：从雷达塔一根避雷针故障，接闪器脱落的现象可以看出。直击雷击中了雷达塔的避雷针，由于采用了直击雷隔离措施，雷电流不会从建筑钢筋泄放，将避雷引下线与建筑钢筋和所有金属导体绝缘，用高压屏蔽电缆作泄流导体泄放雷电流，并将高压屏蔽电缆穿入厚壁钢管，有效屏蔽雷电流磁场。如果雷电流不通过雷达塔泄放，塔顶金属导体对地的电位差与雷达机房均压网对地的电位差均为“0”，雷达编码器和相关部件就不会有直击雷击损坏的风险，根本上解决直击雷发生时击坏编码系统的问题。那么雷达天线系统中的方位组件故障可以排除直击雷的可能性。

同时不排除雷达塔发生绕击雷和侧击雷，但概率微乎其微，雷电流幅值较小，一般在 10KA 以下，为了防止绕击雷和侧击雷产生的雷电流通过电缆屏蔽层泄放，电缆屏蔽层用专用接地装置和专用高压屏蔽电缆穿入厚壁钢管接地。在雷达塔顶和雷达机房外墙面各敷设一条高压屏蔽电缆，将雷电流短路至高压屏蔽电缆泄放。我们分析极有可能是邻近发生雷击时在线路中产生的浪涌电压损坏雷达天线系统中的方位组件或者是所有馈线屏蔽层均接到了雷电流泄流点，桥架进入机房前在外墙面安装一个接地排，将桥架、馈线电缆屏蔽层、编码电缆屏蔽钢管、BVR-95mm^2 导线接至此接地排，当雷达塔发生直击雷时，接地排便不是“0”电位，对地有较大电位差，与接地排相连的电缆屏蔽层上也有同样对地的瞬时浪涌电压，导致损坏方位组件内的电子电路。

安防系统雷击事故分析：直击雷造成的雷电强磁场在电子脉冲围栏主机输出和输入金属大环路产生出了浪涌电压导致电子围栏主机损坏。室外至室内所有传输监控器的电子围栏监控信号、摄像视频和控制信号的信号电缆均为穿 PVC 管进入监控器，而没有穿钢管进行电磁屏蔽，当附近发生雷击时雷电磁场在信号输入端产生较高的浪涌电压，从而导致监控器损坏。再加上室外监控摄像机、电子门铃及电子围栏主机均由室内供电，而室内至室外的供电电缆也未穿入钢管进行电磁屏蔽。当室外发生雷击时，雷电波沿电源回路和并行一起布线的信号回路中产生浪涌电压损坏相应接口和设备。在信号和电源电缆两端所配置的避雷器性能不能抵御强雷电产生的浪涌电压，安装的避雷器未能有效保护监控接口和电子围栏键盘接口。因此造成了安防系统的全面瘫痪。

解决方案：技术人员对故障的方位组件进行了更换，更换完成后，开启二次雷达双通道正常。而安防系统则交由安防工程师修复，并进行防雷改造。其改造措施为凡进入室内的监控信号电缆均穿入钢管进入室内，钢管间隔 10m 处就近可靠接地一次，信号两端安装相应的 SPD；室外电子脉冲主机高压脉冲输出和输入端安装高压氧化锌避雷器；室内至室外电子脉冲主机供电的电源电缆穿入钢管，钢管间隔 10m 就近可靠接地；供电电源的电缆两端安装相应 SPD，室外安装一级电源 SPD，室内安装二级电源 SPD，供电电源严禁从 UPS 输出端取电，从照明或空调动力取电。靠近避雷针的室外摄像头和电子围栏脉冲主机的金属导体与邻近避雷针金属底座用 BVR-35mm^2 导线可靠连接，电子围栏支撑杆就近可靠接地。

6 结语

防雷是一项复杂的系统工程，加之民航空管的很多高山台站多处于雷暴的易发生区域，且台站机房内设备众多，线路密集，如果存在防雷的漏洞就极易引发雷击，造成重大损失。因此在台站的日常运行中防雷是一项重要的工作。我们需要做到以下几点：

①加强台站运维人员的防雷知识培训工作，提高大家对雷电流的认识；严格遵守规章制度，定期对防雷设施进行检查。

②在室外做防雷，要安装好进出机房电缆馈线和机房防雷屏蔽网。

③在室内做防雷，则要在所有信号传输线上安装信号防雷器 SPD，在所有进入机房内的射频电缆、网线等所有线缆都在入户口处将金属屏蔽层就近可靠接地。

④在电源防雷方面，则要在高压线路上安装三相电源防雷器，在市电的输入端、隔离稳压器的输出端、UPS 的输出端以及机房配电箱的输入端和各设备对应空开的输出端安装三相电源防雷器；规范生活区用电，加强用电的安全教育，严禁乱接电源线，定期检查生活区用电设施。

参考文献

[1] GB 50057—94 建筑物防雷设计规范[S].

[2] 刘雁峰.防雷技术在高山发射台的应用[J].电子世界,2021(13):2.

[3] 孙君厚,赵志国,金兆华.通信机房和设备的防雷技术与实践研究[J].科技创新与应用,2012(6Z):1.

 DOI: https://doi.org/10.12349/iser.v3i1.572

Fingerprint Authentication Method Based on IoT Device

Zhiyuan Yu

Beijing Broadthinking Technology Limited, Beijing, 100047, China

Abstract

The complexity of the network environment and information technology makes the security of the Internet of Things more prominent. In order to improve and optimize the authentication problem of IoT devices from the source and enhance the security of IoT devices, a method based on the fingerprint context authentication of IoT devices is proposed. In the process of system design, the context authentication process was clarified, and a fingerprint situational authentication system for IoT devices including contextual information collection, contextual information storage, and context authentication was constructed. At the same time, the Telnet/SSH environment, cloud environment, Mirai attack environment, and scenario authentication environment are set up, and the user control scenario experiment, DTU terminal device scene experiment, and scenario authentication experiment are carried out on the system.

Keywords

Internet of Things; cybersecurity; device fingerprint; contextual authentication

基于物联网设备指纹认证方法

於志渊

北京博思汇众科技有限公司，中国 · 北京 100047

摘　要

网络环境及信息技术的复杂性使物联网安全问题愈加突出。为从源头上改进和优化物联网设备认证问题，提升物联网设备安全，提出了一种基于物联网设备指纹情境认证的方法。在系统设计过程中，先明确了情境认证流程，构建了包括情境信息收集、情境信息存储、情境认证的物联网设备指纹情境认证系统。同时，设置了Telnet/SSH环境、云环境、Mirai攻击环境、情境认证环境，对系统进行用户控制场景实验、DTU终端设备场景实验、情境认证实验。

关键词

物联网；网络安全；设备指纹；情境认证

1 引言

现阶段，物联网（IoT）的应用愈加深入和广泛，已经成为推动社会经济快速发展的“重要生产力”[1]。在信息技术快速发展的支持下，物联网的运行环境愈加复杂，使物联网设备安全问题成为当前信息技术人员及社会公众高度重视的问题[2]。现阶段，已经形成并应用了基于瞬态特征、调制信号、内部传感器的设备安全保护方法，但仍存在易受环境干扰等问题，难以有效应对愈加复杂的网络环境带来的安全风险。对此，提出一种物联网设备指纹情境认证方法，并对提出的方法进行实验验证，以期有效提升物联网设备使用安全性，切实保障物联网用户的信息数据安全。

【作者简介】於志渊（1977–），男，中国上海人，硕士，从事智能卡、安全芯片、安全通信、物联网解决方案、边缘计算、云计算、虚拟化等研究。

2 物联网设备指纹情境认证方法的提出

基于信息技术的快速发展，物联网在愈加复杂的网络环境中的应用愈加深入，使其安全性面临严峻挑战[3]。结合既有研究成果分析发现，物联网安全研究侧重设备、协议与平台。

其中，物联网设备安全问题比例最高，其原因在于物联网设备默认密码、无保护调试接口等成为易受攻击的对象。由于设备指纹是一种唯一识别设备及其特征的标识符，且现有设备指纹认证技术，包括瞬态特征、调制信号、内部传感器等，易受环境干扰，难以在愈加复杂的网络环境中保障物联网安全。据此，提出一种物联网设备指纹情境认证方法，即通过在设备端对设备进行指纹信息数据处理，挖掘出设备各种隐性特征，并对其身份进行唯一标识确认的方法。以有效提升物联网设备安全，保障 IoT 设备双向认证安全，切实保护网络安全。

3 物联网设备指纹情境认证系统设计

3.1 情境认证流程

为保证物联网设备指纹情境认证系统有效应用，明确情境认证的方法为：对用户所应用的控制程序或设备，进行设备身份与通信间的流量关联分析，找出涉及的情境因素：设备指纹的吻合性、用户名及密码的正确性、协议的变化情况、登录频率异常、登录时间异常、IP 异常等。并通过决策树分类算法，对情境因素进行分类分析，最终实现物联网设备安全控制。物联网设备指纹情境认证流程框架如图 1 所示。

3.2 情境认证系统框架

基于情境认证流程分析，确定情境认证系统的整体框架，该系统主要包括情境信息收集、情境信息存储、情境认证。

情境信息收集主要是通过数据包抓取，对情境信息数据进行解析和汇总的过程。在此过程中，通过 TShark 命令，对数据包信息进行捕获；通过 filter_eapol 函数编写应用，保证信息捕获后可以在设备上建立连接。

情境信息存储主要是对设备的身份特征进行存储，当系统接收到身份认证挑战时，对数据信息进行认证及动态更新、存储的过程。在此过程中，建立 fingerprint 表与 telephone 表，对情境因素信息进行收集和存储。同时，将 telephone 表应用于 DTU 手机号数据信息存储，并应用于身份认证挑战的信息认证方面。若设备信息交互过程中，存在用户名和密码，则在情境因素中录入用户名和密码，若其他设备不存在该信息，则选用并输入其他情境指纹信息。

情境认证主要是基于情境因素提取，完成身份认证、认证管理及身份认证挑战的过程。为提升情境认证模块的系统性和应用实效，在此模块中添加了身份认证、认证管理、身份认证挑战的小模块。身份认证方面，应用决策树算法输出指纹信息提取结果；应用 telephone 对 DTU 设备的情境数据匹配情况进行分析。

4 实验与结果分析

4.1 实验设备与工具

为有效验证系统的可行性，选择应用 TShark 网络协议分析工具、PyShark 数据包分析法、Raspberry Pi 电脑板、Weka 数据挖掘软件、IOS 手机、安卓手机、摄像头。实验设备应用了移动 SIM 卡、USR-GPRS232-730（DTU）。

4.2 实验环境

Telnet/SSH 环境：本实验在搭建的路由环境下进行，应用 Raspberry Pi 电脑板，部署了 Telnet/SSH 实验环境。

云环境：网络为无线网络，应用 Wireshark 对数据包情况进行记录，并分析指纹特征点。

Mirai 攻击环境：本实验中设置了 Mirai 攻击，流程为：

① IoT 设备感染 Mirai 病毒；② IoT 设备与 DNS 服务器进行交互，得到 CNC 服务器的 IP 地址；③ IoT 设备与 CNC 服务器进行周期交互，在此过程中，完成 IoT 设备扫描弱密码设备；④将扫描信息汇报给 Loader 服务器，应用该服务器对设备进行攻击。

情境认证环境：实验过程中，打开主机中的设置软件，选择波特率等参数，并打开串口。随后给 DTU 设备通电，指示灯亮起后，发送“Hello”。

4.3 实验过程

4.3.1 用户控制场景实验

Telnet 实验：

在连接不同的 IoT 设备时，收集到的指纹信息，具体如表 1 所示。

根据表 1 信息分析，总结出设备指纹特征与结论：

第一，根据相同控制端使用的不同控制程序，选择用户名、密码等收发方式时，信息收发方式存在不同；

第二，根据不同控制端使用的相同控制程序，激活选项与终端类型相同，若攻击者利用此便利远程登录，极有可能欺骗用户行为。由于本实验研究考虑的是攻击者不了解用户的控制端、控制程序等信息情况，所以笨实验将这种情况排除。

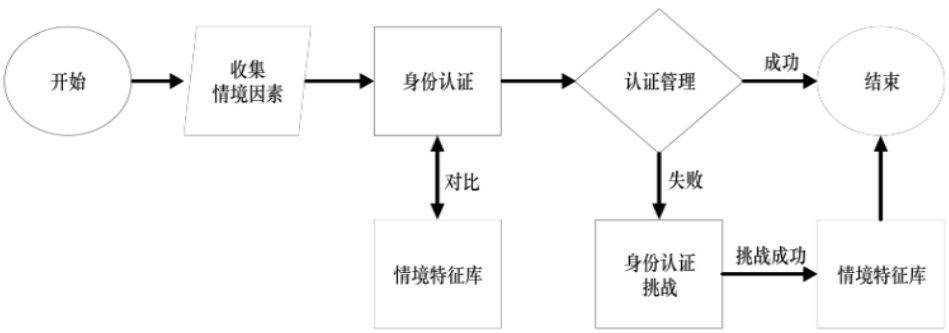

图 1 物联网设备指纹情境认证流程

表 1 连接不同 IoT 设备时不同设备指纹信息表现

软件		IOS 手机 1	IOS 手机 2	安卓手机 1	安卓手机 2	电脑
iTerminal	选项	18	18	—	—	—
	终端类型	VT100	VT100	—	—	—
	用户名 / 密码收发方式	询问式	询问式	—	—	—
Termius	选项	18/27	18/27	—	—	—
	终端类型	Xterm-256 color	Xterm-256 color	—	—	—
	用户名 / 密码收发方式	主动式	主动式	—	—	—
Connectbot	选项	—	—	18	18	—
	终端类型	—	—	Xterm—256 color	Xterm—256 color	—
	用户名 / 密码收发方式	—	—	询问式	询问式	—
命令行	选项	—	—	—	—	18/If/27
	终端类型	—	—	—	—	ANSI

SSH 实验：

通过 SSH 实验，得到设备指纹特征与结论：

第一，对于不同手机的不同控制程序，SSH 的版本信息有所不同。

第二，手机与 IoT 设备进行信息交换的顺序，与电脑与 IoT 设备进行信息交换的顺序不同。其中，手机端方面，手机可以先发送 SHH 信息符号串；电脑端方面，IoT 设备先发送 SHH 信息符号串。

第三，上述特征可以对设备的指纹信息进行有效验证，有效避免非法用户的软件登录行为。

云实验：

通过云实验，得到设备指纹特征与结论：

第一，不同型号的摄像头、手机控制程序，与云服务器的数据交换时涉及的指纹特征信息不同；

第二，在接收到服务器信息后，手机控制程序与云端进行数据交互。

Mirai 实验：

Mirai 实验是考虑 IoT 设备感染 Mirai 病毒后，可以通过设备与服务器间的交互进行流量捕捉。若信息发送方 Bot 设备感染 Mirai 病毒，则其先与 DNS 进行交互，获得 CNC 的 IP 地址。因此，为保证本研究设计的物联网设备指纹情境认证系统有效应用，对感染后的 Bot 设备指纹进行提取设备指纹特征为 \x00\x00\x00\x01，这些数据表示 Bot 设备上线、短时间的数据包连接失败，有效反映出 IoT 设备的 Mirai 病毒感染情况。

4.3.2 DTU 终端设备场景实验

在进行 DTU 终端设备场景实验前，应明确设备指纹提取方式。在用户与 IoT 设备交互过程中，手机端或电脑端会有指纹特征信息，这些特征信息可以成为身份认证的关键信息。当 DTU 终端设备接收到数据，特有的设备指纹信息可以成为身份认证的有力证据，进而有效降低非法用户、非法 DUT 设备访问此设备。常见的流量特征信息提取方式为报文总数、上行报文数、下行报文数、最大报文净荷长度等。针对本实验的实验环境和实验过程，得到网络透传模式、UDC 模式，并用这两种模式进行实验。

基于网络透传模式的实验：

结合实际情况，确定了终端设备与服务器之间的信息交互过程，在此模式下，DTU 成为终端设备与服务器进行信息交互的数据打包转发站。在试验中，通过模块发送注册包信息到服务器中，并让每个数据包的最前端，结合注册包数据。通过实验，提取到 DTU 设备指纹信息：SIM 卡手机号、DTU 设备信息码、200ms 的成帧机制。同时，本实验

通过模块发送心跳机制到网络中发现，当网络连接异常时，模块可以自动检测到无法发送的心跳包数据信息，当发送失败 3 次后，系统会将其确定为异常，并重新尝试连接服务器。由于 DTU 的打包时间为固定模式，所以当打包时间超过 200ms 时，将随即打包数据。

UDC 模式实验：

在此模式下，可以提取到设备指纹特征信息，包括登录、心跳、数据上报信息。通过这些指纹信息收集，可以精准判断出设备是否在线、设备上线时间、设备数据交互情况等，进而对 DTU 设备指纹认证起到关键作用。

4.4 实验结果分析

关于 IoT 设备的双向认证，本研究设计的情境认证方式可以在用户控制端，实现 Telnet/SSH、用户控制端的双向信息认证；在设备端，实现了基于 DTU 设备的设备认证，有效完成了用户控制端、设备的双向信息数据认证，有效提升了设备的使用安全性。同时，通过设备指纹的实验数据分析，结合情境认证训练情况，将指纹认证信息数据存入系统数据库中，实现了设备实际运行数据的验证。综合实验结果数据分析可知，本研究设计的基于物联网设备指纹的情境认证方式对数据的认证护理的精准性为 96%，剩余 4% 数据信息可以通过身份认证挑战完成信息判断。

5 结语

综上所述，信息技术的快速发展，推动了物联网的广泛应用，并使物联网的运行环境愈加复杂，导致物联网设备的安全问题愈加突出。为保证物联网设备运行安全，提出了一种物联网设备指纹情境认证系统，通过指纹情境要素提取和信息判断，完成对 IoT 设备的信息双向认证。为验证系统应用的可行性，以用户控制场景、DTU 终端设备场景为前提，对系统进行 Telnet、SSH、Mirai 病毒实验验证。最终通过决策树，对情境因素进行分类和判断，精准率为 96%，剩余 4% 数据信息可以通过身份认证挑战完成信息判断。但由于实验数据相对较少，各种情境的关联性不强，所以需要在日后研究工作中对其进行补充和完善。

参考文献

[1] 张艳红,杨明剑,马宁,等.基于活体指纹识别与物联网的智能安防系统研究[J].技术与市场,2022,29(1):170-171.

[2] 林俊强,唐艳凤,郑焕坡,等.基于物联网云平台的智能门禁系统设计[J].物联网技术,2022,12(1):95-98.

[3] 李琪阳,董雷.基于朴素贝叶斯的物联网设备指纹算法[J].电子设计工程,2021,29(21):155-158.

 DOI: https://doi.org/10.12349/iser.v3i1.573

Analysis on Wi-Fi6 Technology and Industry Development

Cheng Peng Mengxuan Zheng Shuang Wang Jingxin Tang

Boding Shihua (Beijing) Technology Co., Ltd., Beijing, 100096, China

Abstract

Wi-Fi6 as the latest generation of wireless LAN standard has been a wide range of attention in recent years. Especially in the past two years, Wi-Fi6 products have entered the stage of explosive growth. Wi-Fi 6 technology presents a good prospect. This paper mainly introduces the characteristics, development trends and application scenarios of Wi-Fi6 technology. The advantages and disadvantages of Wi-Fi6 compared with 5G technology are also analyzed.

Keywords

Wi-Fi6; wireless LAN; 5G

Wi–Fi6 技术与产业发展分析

彭程 郑梦瑄 王爽 唐晶鑫

博鼎实华（北京）技术有限公司，中国 · 北京 100096

摘 要

Wi-Fi6作为最新一代无线局域网标准近年来得到了广泛的关注。特别是近两年来Wi-Fi6产品进入了爆发式增长的阶段。Wi-Fi6技术呈现出良好的应用前景。论文主要介绍了Wi-Fi6技术的特点、发展趋势以及应用场景。并分析了Wi-Fi6与5G技术相比所表现的优势与不足。

关键词

Wi-Fi6；无线局域网；5G

1 引言

Wi-Fi 技术经过二十余年的发展已经成为人们接入互联网的主要无线技术之一。Wi-Fi6 作为最新一代无线局域网标准自问世以来受到了广泛的关注。特别是近年来支持 Wi-Fi6 的产品呈现爆发式增长。其高速率、高密度、低功耗、低时延等特征特别适用于物联网、大数据、云计算等新兴应用场景。此外，在后疫情时期，越来越多的人选择居家办公。人们对家庭网络质量也变得格外关注。Wi-Fi6 技术也成为提升家庭网络质量的重要手段之一 [1]。

2 Wi–Fi6 技术发展现状

2.1 Wi–Fi6 产生背景

802.11 无线网络技术，也就是我们习惯称呼的 Wi-Fi 已成为移动设备接入互联网的主要方式之一。经过 20 余年的发展，以 802.11 为代表的 Wi-Fi 技术从最初的 2Mbps 发展到千兆速率。在移动互联网时代，Wi-Fi 作为主要技术之一改变了人们的上网体验。从最早的只能简单浏览网页发展到现如今的高清视频、高速下载、无线医疗、远程课堂等等。在 802.11n、802.11ac 技术成熟及普及后，大量的公众区域都部署了无线局域网络，如大型商场、火车站、飞机场、办事大厅等。有时一个 Wi-Fi 网络会承载成百上千的数据终端连接请求与数据传输，这就导致了上网速率低，连接不稳定，断线率高等一系列问题频繁发生，从而严重影响了用户的上网体验。究其原因固然有网络部署，节点优化等原因，但更重要的是 Wi-Fi 标准在设计之初并没有考虑到这种高密度、大连接的场景。其最初旨在用于较短距离内的有限设备连接。因此适应于用户密集场景，高密度终端使用场景，同时支持更好的节电策略，适应物联网、虚拟现实等新兴领域成为新一代 Wi-Fi 技术与标准的愿景。

2.2 Wi–Fi6 核心技术

Wi-Fi6即802.11ax，也称为高效无线网络（High-Efficiency Wireless-HEW），其借鉴了蜂窝网 LTE 关键技术，通过一系列系统特性和多种机制增加系统容量，通过更好的一致覆盖和减少空口介质拥塞来改善 Wi-Fi 网络的工作方式，使用户获得最佳体验，最高物理速率可达 9607.8Mbps。尤其在密集用户环境中，为更多的用户提供一致和可靠的数据吞吐量，其目标是将用户的平均吞吐量提高至少 4 倍。也就

【作者简介】彭程（1984–），男，中国北京人，硕士，工程师，从事无线局域网、测试平台建设、测试能力验证、测试方案定制、标准编写与跟踪、无线网络安全等研究。

是说基于 Wi-Fi6 的 Wi-Fi 网络意味着前所未有的高容量和高效率，其核心技术主要是 OFDMA 频分复用技术、DL/UL MU-MIMO 技术、更高阶的调制技术（1024-QAM）、基于颜色的快速 BSS 识别、TWT 节能管理、ER 扩展范围覆盖等 [2]。

2.3 Wi–Fi6 发展趋势

Wi-Fi 联盟在 2021 年宣布 Wi-Fi6 从 2.4GHz 和 5GHz 频段扩展到 6GHz 频段（5.925GHz~7.125Ghz），使用 6G 频段的 Wi-Fi6 被命名为了 Wi-Fi6E。6GHz 频段内的连续频谱足以提供 7 个 160MHz 信道和 14 个 80MHz 信道的带宽。有效解决了 Wi-Fi 频段不足的问题及同频段内设备相互干扰的问题。能够很好地支持高带宽的应用，如高清视频，虚拟现实，远程医疗等。但中国已将此频段划分为蜂窝通信 5G 及 6G 使用，因此不存在 Wi-Fi6E 与 5G 争夺频谱的情况发生。

3 Wi–Fi6 产业现状与趋势

3.1 Wi–Fi 6 产业现状

在 Wi-Fi6 芯片领域，全球主流 Wi-Fi 芯片厂商如 Intel、博通、高通、恩智浦、德州仪器、瑞昱、联发科等一线龙头厂商均已推出 Wi-Fi6 芯片解决方案，国内的厂商中，华为海思推出了基于 Wi-Fi6 的凌霄 650 解决方案，打破了国外芯片对 Wi-Fi6 的垄断。此外乐鑫也推出了 ESP32-C6 基于 Wi-Fi6 ＋蓝牙 5 的芯片解决方案。总体来说，Wi-Fi6 芯片产业基本成熟。

在产品领域，主要分为 Wi-Fi6 终端与路由器。终端方面从 2019 年 2 月三星 Galaxy S10 首次支持 Wi-Fi6 以来，苹果、华为、小米、OPPO 等主流手机品牌的旗舰级如 iphone12、华为 P40、小米 10 等都使用了 Wi-Fi6 技术。目前 Wi-Fi6 已经成为高端旗舰机的标配。无线路由器方面，Wi-Fi 无线路由器包括运营商级 AP 热点、企业接入 AP、家庭网关、家用级无线路由器等。目前思科、华为、星网锐捷等企业已推出运营商和企业级 Wi-Fi6 产品；华为、天邑股份等厂商已经推出家庭网关 Wi-Fi6 产品；小米、华为、华硕、TP-Link 等已推出多款家用 Wi-Fi6 无线路由器产品。

3.2 Wi–Fi 6 主要应用场景

公共场所等密集访问场景：Wi-Fi6 可以优化公共区域的集中 Wi-Fi 访问需求，很多公共的无线接入点，如机场、体育馆等地方都是 Wi-Fi6 可以发挥自身特长的场景，其优异的多设备容纳和传输速率表现可以提升公共场所 Wi-Fi 网络的效率。

VR/AR/4K 等新兴应用场景：超高清视频、VR、AR 等未来待普及的应用都将消耗比目前视频业务更大的流量，Wi-Fi6 在密集住宅环境中提供的高吞吐量、低延迟和网络效率能使这些应用更好融入家用环境。

物联网、智慧家庭等场景：在物联网智能家居市场兴起的背景下，智能互联的设备品类相较以前大幅拓展，消费者对智能家居数量的需求大幅提升，对网络的能力提出不小要求。Wi-Fi6 可以协助实现多智能应用的同时快速连接。

3.3 Wi–Fi 6 产业发展趋势

Wi-Fi 技术目前是用户接入互联网的主要方式之一。2019 年是 Wi-Fi6 启动元年 2020 年—2023 年 Wi-Fi6 将全面爆发。Wi-Fi6 产业链已日趋成熟。随着物联网等技术的强势推动，形式各样的终端类型层出不穷，作为新兴移动智能终端领域的可穿戴设备、智能家居、智能汽车、VR 设备等，都很有可能催生巨大的潜在市场。2019 年开始市场上逐渐出现支持 Wi-Fi6 标准的终端设备，而且会逐渐形成燎原之势，搭载最新技术 Wi-Fi6 标准的终端数量预计将呈指数级增长 [3]。根据 Dell’Orol 公司预测，从 2020 年开始 Wi-Fi6 市场占有率将明显增长，随着 Wi-Fi6 芯片的成熟及支持 Wi-Fi6 终端的日益普及，Wi-Fi6 将成为市场的主流。到 2023 年，预计支持 Wi-Fi6 的企业级室内无线路由器出货量将占全球企业级室内无线路由器出货量的 90%。同时，2023 年中国商用 Wi-Fi 市场规模也将预计达到 41.09 亿元。

4 Wi–Fi6 与 5G 的对比

4.1 Wi–Fi6 与 5G 技术对比

Wi-Fi6 与 5G 技术对比见表 1。

峰值速率：5G 与 Wi-Fi6 两者的理论速度很接近，在 sub6GHz 频段，5G 的理论下行速度约为 10Gb/s，而 Wi-Fi6 的最快下行速度为 9.6Gb/s。当然，要想体验到 Wi-Fi6 更高的速率还需要回传带宽的支持。

覆盖能力：大规模室外覆盖选 5G；室内高密覆盖选 Wi-Fi6。覆盖能力与工作频段和辐射功率等指标都是密不可分的。考虑到 5G 基站具备更大的辐射功率，因此在室外场景下，5G 覆盖能力仍遥遥领先。而在室内的情况下，考虑到移动蜂窝网的信号衰减以及室分建设的高昂成本，Wi-Fi6 的优势更为显著。因此，覆盖能力的各有千秋决定了 Wi-Fi6 和 5G 的适合应用场景大不相同，5G 多用于移动性场景，而 Wi-Fi6 则多用于室内休闲娱乐及办公，包括家庭、商场、学校、公司、体育场馆等。

延时：尽管 Wi-Fi6 相比于上一代标准延时方面有了很大的提升，从 30ms 下降到 20ms，但是对于超低时延（＜ 10ms）的应用场景，Wi-Fi6 则无法满足。5G 的时延可以低至 10ms 以下，因此时延方面，5G 更胜一筹，在无人驾驶、医学领域、工业生产领域 5G 的应用机会更多。

4.2 Wi–Fi6 与 5G 应用场景对比

5G 能够满足多种场景的网络技术要求，Wi-Fi6 则重点聚焦于室内场景。5G 的系统性能指标能够满足差异化场景下不同业务的网络需求，从而实现在 AR/VR、超高清视频等增强移动宽带场景中的极高数据传输速率需求，满足车联网、工业控制等行业应用的低时延及可靠性要求，实现

面向智慧城市、环境监测、智能农业等应用场景中的海量设备连接。Wi-Fi6 的频段及发送功率等特点使其使用的场景大多数限制在室内范围，聚焦于满足室内场景高速率大带宽业务的网络需求。在考虑单设备接入用户数量的情况下用户体验速率将不低于 5G 网络，但在满足较高移动性、实时控制、稳定接入等网络需求方面稍显不足。

表 1 Wi–Fi6 与 5G 技术对比

对比项		Wi-Fi 6	5G
物理速率		9.6Gb/s	FR1：约 30Gbps/data stream（100MHz BW） FR2：约 40Gbps/data stream（400MHz BW）
频率范围		2.4G：2.400~2.4835GHz 5G：5.150~5.850GHz 6G：6.925~7.125（美国）	FR1：410~7125 MHz FR2：24250 ~52600 MHz
信道带宽		20/40MHz/80MHz/160MHz	FR1：5~100 MHz FR2：50~400 MHz
技术	调制技术（最高）	1024QAM	FR1：256QAM FR2：64QAM
	频率	免费，无限制	受限，运营商限制
	调度方式	类集中调度	集中调度
用户体验	单用户体验速率	100Mbps	100M-1Gbps
	时延	平均：20ms 优先调度算法：10ms	1ms（空口时延）
	移动性	50ms “终端发起漫游，关键业务需要端协管”	500km/h
	干扰	非授权频段，可能干扰	授权频段，干扰相对受控
终端生态		企业终端丰富（PC，投影，追控，AGV，VR 头盔等）	以个人移动终端为主，极少企业设备内置 SIM 卡
安全性		最新 WPA3 协议安全有保障，可等同于 5G；流量可以不出企业	空口安全性高，流量经过运营商
管理要求		企业现有管理人员，平滑过渡	新的专业领域，运营商控制
主要应用场景		多用于室内休闲娱乐及办公，家庭、商场、学校、公司、体育场馆等	可用于 AR/VR、超高清视频、车联网、工业控制、智慧城市、环境监测、智能农业等

5 结语

作为新一代无线局域网的标准，Wi-Fi6 相较于前几代 Wi-Fi 技术具备高速率、大容量、低延时与低功耗等特点。在未来几年内将会发展为无线局域网产品的主要技术标准。基于 Wi-Fi6 技术的应用也将呈现爆发式增长。同时 Wi-Fi6 也为 5G 应用提供了很好的补充。两种技术在未来一段时间内会共同存在，相互补充。

参考文献

[1] 中国联通.中国联通Wi-Fi6技术白皮书[Z].

[2] CISCO, IEEE 802.11ax: The Sixth Generation of Wi-Fi[Z].

[3] Wi-Fi Alliance, Wi-Fi_CERTIFIED_6_Test_Plan v2.0[Z].

In-depth Analysis of Customer Satisfaction Based on Multiple Statistical Methods

Mengchuan Huang

China Telecom Group Corporation Limited, Beijing, 100010, China

Abstract

Satisfaction reflects the degree to which the customer matches the experience and expectation of a company's service, and contains the needs of customers, the problems of the enterprise and the direction of service improvement. Therefore, it is particularly important to carry out satisfaction survey and analysis for service companies. Using multiple statistical methods of communication operators enterprise customer satisfaction survey results for factor analysis and cluster analysis, from different areas analysis of customer business perception, analyzes the potential factors of customer attention, thus communication operators can determine the direction of customer service, take effective measures to improve customer satisfaction.

Keywords

satisfaction; factor analysis; cluster analysis; SPSS

基于多元统计方法深入剖析客户满意度

黄孟川

中国电信集团有限公司，中国·北京 100010

摘　要

满意度反映了客户对某公司服务的体验值和期望值匹配的程度，同时蕴藏着客户的需求、企业存在的问题以及改进服务的方向，因此开展满意度调查和分析对服务型公司显得尤为重要。利用多元统计方法对通信运营商企业客户满意度调查结果进行因子分析和聚类分析，从不同区域分析客户业务使用感知现状，解析了客户关注的潜在因子，从而通信运营商就能确定客户服务提升的方向，采取有效的措施，切实提升客户满意度。

关键词

满意度；因子分析；聚类分析；SPSS

1 引言

满意度在客户关系管理中占据着非常重要的位置。其目的是通过满足客户对产品和服务的期望和需求，提高客户的忠诚度，从而培养稳定的客户群体。获取满意度的方式是针对客户业务开展满意度调查，听取客户的评价，进行评价结果的分析，了解客户的需求方向，有针对性地优化自身服务，提高服务的质量，打造良好的口碑，持续提升客户的业务使用感知。

论文通过两千多家电信运营商重点客户的满意度调查结果，选择五项主要客户服务评价指标，利用统计学中的因子分析开展数据分析，找出影响客户满意度的关键因子，给出综合评价，并结合区域给出服务提升建议。

【作者简介】黄孟川（1984–），男，中国河北沧州人，本科，副高级工程师，从事5G无线网络和大数据分析相关研究。

2 因子分析简介

因子分析是多元分析中处理降维的常用统计方法，将多个指标视为少数几个公共因子综合作用的结果，通过建立因子分析模型，再现多个指标与少数几个公共因子之间的内在联系。

2.1 因子分析模型

$$\begin{pmatrix} X_1 \\ X_2 \\ \vdots \\ X_p \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1m} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{p1} & a_{p2} & \cdots & a_{pm} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} F_1 \\ F_2 \\ \vdots \\ F_m \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \vdots \\ \varepsilon_m \end{pmatrix}$$

记作：

$$X_i = a_i F + \varepsilon_i \quad i = 1, \cdots, p$$

式中，X_i——显变量，$EX = 0$，$\mathrm{cov}(X, X) = \Sigma$；

F——公共因子 / 潜因子，$m < p$，$E(F) = 0$，

$\mathrm{cov}(F, F) = I$；

ε_i ——特殊因子，$E(\varepsilon)=0$，$\mathrm{cov}(\varepsilon\ \varepsilon)=$
$\mathrm{diag}(\delta_1^2,\delta_2^2,\cdots,\delta_p^2)=D,\mathrm{cov}(F\ \varepsilon)=0$；

a_i ——因子载荷；

模型也可以推广为：

$$X_i=a_{i1}F_1+a_{i2}F_2+\cdots+a_{im}F_m+\varepsilon_i,i=1,\cdots,p$$

2.2 因子旋转

公共因子与因子载荷矩阵不是唯一的。一般对公共因子 F 作正交变换 $Z=\Gamma' F$，则有：

$$X=A\Gamma Z+\varepsilon\triangleq BZ+\varepsilon$$

其中，$B=A\Gamma$。

验证后，变换后仍是一个因子分析模型，Z 为新的公共因子，B 为新的因子载荷矩阵。

公共因子的正交变换（或因子载荷矩阵的正交变换）称为因子轴的正交旋转，目的是赋予公共因子明确合理的实际意义。

因子旋转最常用的正交旋转为方差最大正交旋转（Varimax 旋转），对 p 个指标 $X_1,X_2,\cdots,X_p$ 进行分组，使得每组指标只与其中一部分公共因子有关 [1]。

2.3 因子得分

因子得分即是反过来寻求将公共因子用原始指标来表示。

$$F_j=\beta_{j1}X_1+\beta_{j2}X_2+\cdots+\beta_{jp}X_p,\quad j=1,\cdots,m$$

称为因子得分函数，其中 $X_1,X_2,\cdots,X_p$ 默认已标准化。

以公共因子 F 代替原始指标 X，就可以达到降维的目的。

因子得分估计最常用的两种方法为：

①回归法：Thompson 因子得分 $\hat{F}=A'R^{-1}X$；

②加权最小二乘法：Bartlett 因子得分 $\hat{F}=(A'A)A'X$。

用因子得分阵代替原始变量的样本数据阵，可做进一步的统计分析，如聚类分析、判别分析、回归分析等。

3 不同区域客户满意度因子分析

随机抽样通信运营商 2000 多家重点客户，选取 5 项主要客户服务评价指标进行统计分析。5 项服务评价指标分别为 Q1（开通服务体验）、Q2（业务中断修复时长体验）、Q3（业务中断次数体验）、Q4（业务中断间隔体验）和 Q5（重大服务保障体验），每项体验指标分别进行 0-10 分评价，其中 10 分表示对电信业务非常满意并将继续使用，0 分表示对电信业务不满意并不推荐使用。以地理区域为单位，对 0~6 分（不满意），7~8 分（潜在满意），9~10 分（满意）的数量进行了统计。

在 5 项客户服务评价指标中，90% 以上的满意度评分均在 9~10 分，也就是客户对该运营商的服务是非常满意的。但同时也存在少量潜在满意和不满意客户，因此需要对该部分客户进行解析，寻找客户的需求，获得服务提升的方向。

3.1 潜在满意（7~8 分）客户满意度分析

①首先利用 SPSS 软件对统计结果中潜在满意（7~8 分）的 5 项服务指标进行主成分分析，默认选择 2 个主成分，信息提取率为 97.2%。

②根据图 1 同样可以看出从第三个因子信息量已经开始趋近于 0 了，所以提取两个主成分是比较合理的。

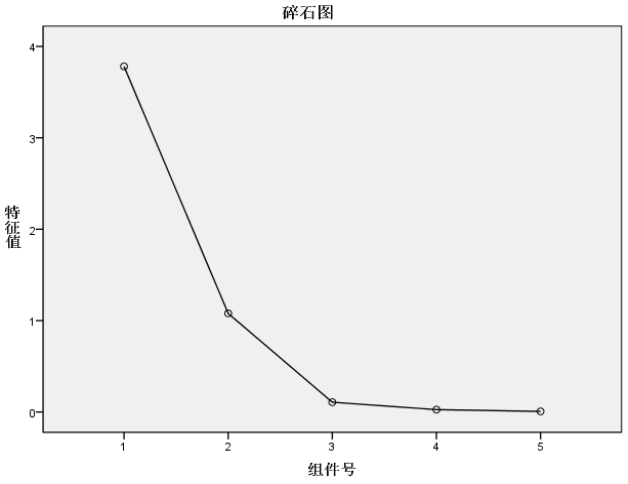

图 1 不同区域潜在满意（7~8 分）碎石图

③使用最大方差法进行正交因子旋转后，不同区域潜在满意（7~8 分）因子旋转成分矩阵如图 2 所示，可知：

因子 1 主要与 Q1（开通服务体验）、Q2（业务中断修复时长体验）、Q5（重大服务保障体验）三项指标的 7~8 分（潜在满意）评价有关，因此因子 1 可以命名为服务质量型因子，该因子的方差贡献率为 60.99%[2]。

因子 2 主要与 Q3（业务中断次数体验）、Q4（业务中断间隔体验）两项指标的 7~8 分（潜在满意）评价有关，因此因子 2 可以命名为业务稳定性因子，该因子的方差贡献率为 36.2%。

旋转后的成分矩阵[a]

	组件	
	1	2
Q1（8-7）	.955	.225
Q2（8-7）	.939	.269
Q3（8-7）	.541	.822
Q4（8-7）	.101	.987
Q5（8-7）	.977	.193

提取方法：主成份分析。
旋转方法：Kaiser 标准化最大方差法。
a. 旋转在 3 次迭代后已收敛。

图 2 不同区域潜在满意（7~8 分）因子旋转成分矩阵

④各区域关于两个因子的得分如表 1 所示，可知：

各区域在服务质量型因子对比中，南部沿海和东北片

区存在较多的潜在满意客户，只要对开通、故障处理、重要保障三项提升服务质量，这些潜在满意客户即可转为满意。

各区域在业务稳定性因子对比中，中国南部沿海、东北片区、中北部片区、江浙沪、京津冀 5 个区域存在较多的潜在满意客户，针对这些区域，只有降低故障频次和间隔，这些潜在满意客户才能转为满意。

3.2 不满意（0~6 分）客户满意度分析

①首先利用 SPSS 软件对统计结果中不满意（0~6 分）的 5 项服务指标进行主成分分析，默认选择 3 个主成分，信息提取率为 93.26%。

②根据图 3 同样可以看出从第四个因子信息量已经开始趋近于 0 了，所以提取 3 个主成分是比较合理的。

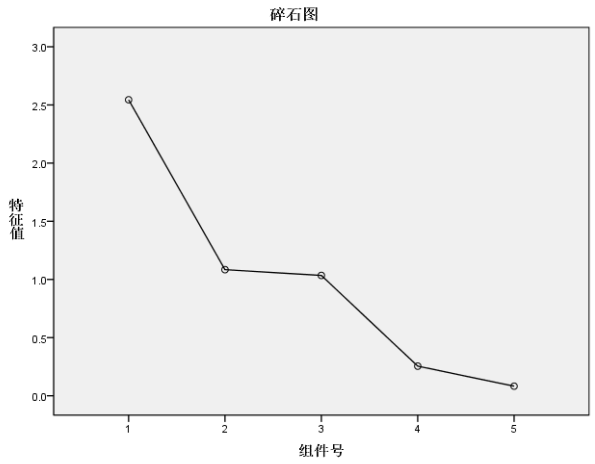

图 3 不同区域不满意（0~6 分）碎石图

③使用最大方差法进行正交因子旋转后，不同区域不满意（0~6 分）因子旋转成分矩阵如图 4 所示，可知：

因子 1 主要与 Q1（开通服务体验）、Q2（业务中断修复时长体验）、Q5（重大服务保障体验）三项指标的 0-6 分（不满意）评价有关，因此因子 1 可以命名为服务质量型因子，该因子的方差贡献率为 44.62%。

因子 2 主要与 Q4（业务中断间隔体验）指标的 0~6 分（不满意）评价有关，因此因子 2 可以命名为业务不可用时长敏感型因子，该因子的方差贡献率为 27.35%。

因子 3 主要与 Q3（业务中断次数体验）指标的 0~6 分（不满意）评价有关，因此因子 3 可以命名为业务不可用频次敏感型因子，该因子的方差贡献率为 21.29%。

旋转后的成分矩阵[a]

	组件		
	1	2	3
Q1（6-0）	.912	.228	.157
Q2（6-0）	.894	-.156	-.223
Q3（6-0）	-.049	-.054	.990
Q4（6-0）	.059	.975	-.038
Q5（6-0）	.770	.581	-.095

提取方法：主成份分析。
旋转方法：Kaiser 标准化最大方差法。
a. 旋转在 5 次迭代后已收敛。

图 4 不同区域不满意（0~6 分）因子旋转成分矩阵

④各区域关于三个因子的因子得分如表 2，可知：

各区域在服务质量型因子对比中，中北部片区和中南部片区存在不满意客户，以上两个区域应加强开通、故障处理、重要保障三项服务力度[3]。

表 1 不同区域潜在满意（7~8 分）因子得分

区域		江浙沪	京津冀	东北片区	南部沿海	西部片区	云贵川	中北部片区	中南部片区
因子得分	f1	33.9	20.11	50.42	55.24	32.98	36.09	35.95	26.77
	f2	17.13	17.28	21.05	28.23	16.54	16.39	19.52	12.41

表 2 不同区域不满意（0~6 分）因子得分

区域		江浙沪	京津冀	东北片区	南部沿海	西部片区	云贵川	中北部片区	中南部片区
因子得分	f1	3.42	-0.05	3.51	2.59	0.15	0.15	13.01	6.09
	f2	1.9	-0.05	0.57	6.64	1.21	4.71	6.54	6.98
	f3	2.13	0.99	2.42	3.32	17.9	2.78	4.25	2.74

各区域在业务不可用时长敏感型因子对比中，中国南部沿海、中北部片区、中南部片区 3 个区域存在不满意客户，针对该类型区域，应制定有效举措，降低故障间隔时长。

各区域在业务不可用频次敏感型因子对比中，西部片区、南部沿海、中北部片区 3 个区域存在不满意客户，在以上类型区域，应采取相应措施，降低故障发生频次。

4 结语

论文抽样 2000 多家通信运营商重点客户的满意度调查结果，选择 5 项主要客户服务评价指标，通过对不同区域的因子分析，首先确定客户对电信运营商的服务是非常满意的，然后利用因子分析，从潜在满意（7~8 分）的满意度统计分析中，提取服务质量型和业务稳定型两个受关注的因子，确定了该运营商针对潜在满意客户，南部沿海和东北片区既要提高开通、故障处理及重要保障的服务质量，也要降低故障频次和间隔；中北部片区、江浙沪、京津冀区域需降低故障频次和间隔。从不满意（0~6 分）的满意度统计分析中，提取服务质量型、业务不可用时长敏感型和业务不可用频次敏感型三个受关注的因子，确定了该运营商针对不满意客户，中北部片区和中南部片区需加强开通、故障处理、重要保障的服务力度，南部沿海、中北部片区、中南部片区需降低故障间隔时长，西部片区、南部沿海、中北部片区需降低故障发生频次。

参考文献

[1] 李孔泽,区春燕.基于统计方法的远程通信数据传输实验系统[J].电子设计工程,2019,27(14):163-166+171.

[2] 赵晓进,梁芝栋,邵立杰,等.SPSS软件非线性回归功能的分析与评价[J].统计与决策,2021,37(23):20-22.

[3] 蔡静.通信运营商如何有效提升客户满意度[J].数字通信世界,2022(3):152-154.

 DOI: https://doi.org/10.12349/iser.v3i1.575

Analysis of the Fault Mechanism of the Flight Control Computer's Digital/Analog Constantly 5V

Li Zhang Zenghui Shi Jingfen Geng

Shijiazhuang Haishan Industrial Development Corporation, Shijiazhuang, Hebei, 050208, China

Abstract

By introducing the application background of D/A technology, the working principle of D/A (input / output) technology of flight control computer, signal transmission and troubleshooting test method of VI characteristic curve, this paper discusses the failure of D/A constant 5V output in the repair of flight control computer, analyzes the causes of the failure, confirms the failure points, combs out the impact and laws of the failure on flight control computer, and puts forward some detection and prevention measures, improve the early fault elimination rate, and provide a theoretical basis and research direction for the future flight control computer fault analysis.

Keywords

flight control computer; D/A; VI test; mechanism of fault

飞控计算机数 / 模恒为 5V 故障机理分析

张丽 史增辉 耿静芬

石家庄海山实业发展总公司，中国 · 河北 石家庄 050208

摘 要

论文主要通过介绍D/A技术的运用背景、飞控计算机的D/A（输入/输出）技术的工作原理、信号传递及VI特性曲线的排故测试方式，讨论飞控计算机在修理中发生的D/A恒为5V输出的故障情况，分析该故障产生的原因，确认故障点，梳理出该故障对飞控计算机的影响及规律，并提出一定的检测预防手段，提高故障早期剔除率，为以后飞控计算机故障分析提供理论依据及研究方向。

关键词

飞控计算机；数/模；VI测试；故障机理

1 引言

随着科学技术的快速发展，航空航天设备、武器系统等高科技产品的复杂程度日益提高。其电路设计也越来越复杂，作为飞机稳定性和操纵性保障的飞行控制系统，更是经过多年的换代升级以适应新的需要。其中飞控计算机采用了D/A 转换来处理飞控计算机与外部交联产品及设备之间的信号交互。

2 飞控计算机数据输入

飞控计算机数据输入 / 输出过程是处理模拟量输入、模拟量输出、离散量输入 / 输出、频率量输入等类型的信号。每个通道采集所有速率组任务所需的以及测试接口发送所需的模拟量输入，每个模拟量信号的处理都在几十微秒。

模拟量输出是通过飞控计算机的中央处理器控制 D/A 转换器输出的，由输入输出控制经交叉通道数据链，进行交叉数据传送，在飞控系统正常工作状态和系统地面启动完成期间进行模拟量输出。

在飞控计算机等电子产品的维护过程中，经常出现这样那样的电子线路故障，对于现有的电子线路，电路设计复杂，元器件密度高，信号交联复杂，在出现故障后，往往不能便捷地对故障电子元器件进行故障定位。为了能够快速定位故障，在电子元器件不脱离板卡的情况，针对可能存在故障的电子元器件采取安全有效并且便捷的方式进行故障定位，不失为一种较好的方法，而 VI 特性曲线测试简单安全，效率快精度高，并且能够针对电子元器件单独进行故障的排查，而且该方法广泛性用在各大行业。应用器件管脚阻抗特性测试手段，是重要的电路板卡维修方法。VI 曲线就是在电路两个点之间施加一个幅度和频率的周期信号，形成一条电流随电压变化的函数曲线如图 1 所示，器件故障管脚阻抗通常会发生变化。

论文主要讨论飞控计算机数、模恒为 5V 的故障描述、故障原因、故障机理及预防措施等。通过修理中的经验积累，为与论文中故障类型相同的问题提供排故思路 [1]。

【作者简介】张丽（1986–），女，中国河北石家庄人，硕士，工程师，从事航空电子产品技术与维修研究。

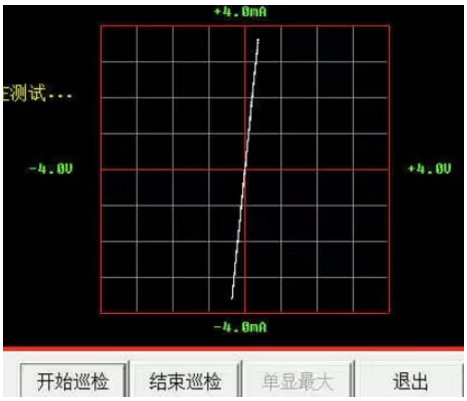

图 1 VI 曲线图

3 D/A 转换概述

D/A 转换在实际电路中应用非常广泛，它不仅常作为接口电路用于微机系统，而且还可利用电路结构特征和输入、输出电量之间的关系构成数控电流源、电压源、数字式可编程增益控制电路和波形产生电路等。数模转换器就是将一个输入的数字信号转换为一个输出的模拟信号，在数据传输系统、测试设备、医疗信号处理等方面都有应用。DA 转换原理是要将数字量转换为模拟量，必须先将每一位代码按其“权”的大小转换成相应的模拟量，然后各分量相加，其总和就是与数字量对应的模拟量。

3.1 飞控计算机通过 D/A 转换与外部设备交联

飞机的控制系统利用飞控计算机中的测试接口传送有关信息至测试设备，以数字量和模拟量两种形式向测试设备输出数据，而飞控计算机各个通道分别经各自的串行通讯线路向测试设备输出数据。同时，测试设备在地址线控制下按照一定的采样要求，由通道向测试设备输出模拟信号。计算机与测试设备的接口原理图如图 2 所示，它就是通过 D/A 转换实现了与测试设备和控制系统之间模拟量与数字量之间的传输。

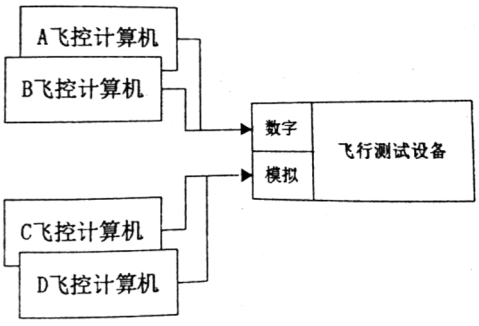

图 2 接口图

3.2 模拟量输出 D/A 转换模式

模拟量输出 D/A 转换主要应用在飞控计算机向执行机构发送舵面指令时，将数字量按权的大小全部转化为模拟量进行相加后传输。模量输出信号如图 3 所示。在飞控系统正常工作的状态下，飞控计算机通过输出指令经控制律计算获得。在系统地面启动完成期间，飞控计算机控制输出指令为渐变值，输入值渐变并通过 DA 转换发送各个指令给执行机构以控制舵面的动作 [2]。

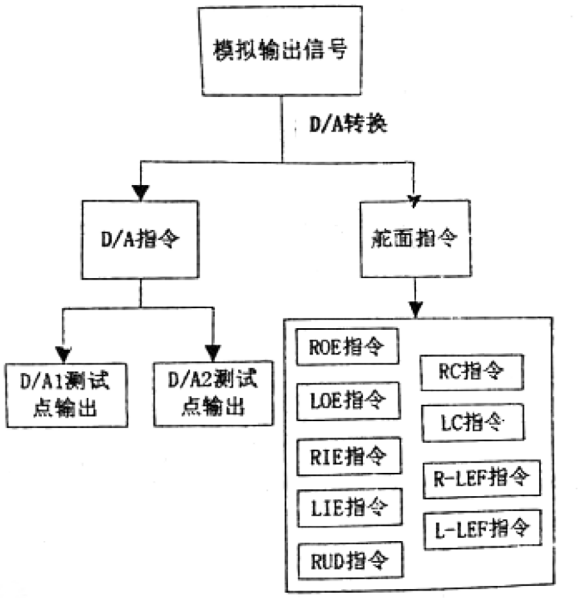

图 3 模拟输出框图

4 问题机理分析

4.1 问题描述

故障现象：在进行产品整机试验过程中，测试人员发现飞控计算机上电后，D/A-OUT1 和 D/A OUT2 测试点在某通道一直存在 5V 电压，且不随输出地址变化而改变。

4.2 故障分析

根据故障现象，测试人员研究飞控计算机运行原理，分析飞控计算机故障可能发生的原因，结合实际故障现象，对飞控计算机进行了以下试验：

①测试人员对飞控计算机进行仿真综合试验，通电后，设备测试某通道 D/A-OUT1 和 D/A OUT2 一直存在 5V 电压，并且测试设备显示飞控计算机工作的状态灯也出现异常，改变输入地址进行测试，电压一直为 5V。测试人员通过故障排除软件对该计算机进行清故，故障依然无法清除，确定计算机确实存在故障。根据飞控计算机设计及运行原理，测试人员建立故障树，依据故障树层层排查，对计算机故障进行深入分析，结合故障现象排除计算机软件问题，判断该故障为计算机存在硬件问题导致。

②由于此 D/A 测试故障为 SIO D/A 故障，测试人员通过测量机箱母板及插座，其性能良好，排除机箱问题。测试人员继续从 SIO 性能输出相关板卡入手，互换计算机两个通道的板卡。互换板卡后，对其进行上电观察，发现故障跟随该板卡进入另一通道，状态灯也在该通道出现异常。将计算机板卡恢复原状态后该故障又回到原通道，从而确定

故障点在此板卡上。对该板卡进行板级测试，在测试到 D/A OUT 路测试信号时报出电压超差，进一步确认该板卡确实存在故障。

③测试人员针对该故障深入板卡的元器件进行故障定位。首先，从整机及板卡 D/A 测试输出故障入手，将故障定位到板卡 D/A 输出工作电路上。其次，根据电路图逐个查找，找出信号的输出端，从而缩小故障元器件排故查找范围。因此信号为 DA 信号，将故障初步定位在输入输出控制芯片 D/A 芯片上。通电对 D/A 芯片进行测量发现，其第 16 脚电压存在异常，应为输出 0V 实际为 5V，与计算机整个 D/A 输出电压为 5V 一致。对该器件进行进一步隔离，发现隔离后故障依旧没有变化，排除此芯片故障。继续沿 D/A 输出电路向上端查找故障点，找到 D/A 芯片异常针脚电压由 IDT54FCT244 提供如图 4 所示。测试人员将该器件的输入输出管脚信号与无故障计算机板卡进行对比测量，发现输入电压正常，而输出电压异常。

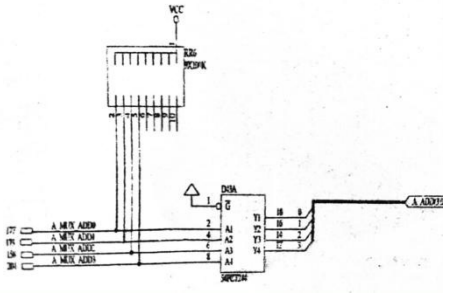

图 4 N43 信号采集原理图

④同时对该芯片进行 VI 特性曲线测试，对该器件的管脚电压与电流关系进行分析。通过对比，发现其管脚波形发生很大变化，与正常测试图形明显不符，确认 N43 为故障芯片。对其进行更换故障消失，确定该芯片为导致计算机 D/A 故障的原因。

4.3 机理分析

4.3.1 输入输出板卡工作原理简介

飞控计算机输入输出控制板卡是针对该型飞机测试开发的板卡，主要实现前后舱的开关量、脚蹬信号以及一些离散量的处理，前舱主要控制飞机飞行，后舱配合前舱完成各项飞行任务，大大提升前后舱操作的配合性，飞行安全可靠性更高。

4.3.2 DA-OUT 工作电路分析

对 DA-OUT 工作电路进行分析，对 SIO DA MUX OUT 高端、低端分别进行测量。SIO DA MUX OUTH 作为双座输入输出板的模拟量多路输出高端，对输出电压起决定作用，在测试过程中，该点的输出电压应为 0V，实际输出一直 5V。根据电路原理图可以看出，该信号来源于多路输出 D/A 转换芯片的第八脚，经过一级放大器放大后给到外部电路。放大器 LM118 输入端电压实际为 5V，放大器放大倍数与正常器件一样，说明放大器 LM118 工作正常。而多路输出器件 D/A 转换芯片也是根据指令将前端电压进行数字 / 模拟信号转换后输出，从电路图中可知多路输出器件 D/A 转换芯片的输入端电压与插针 192、194、197、200 输出电压相同，而插针 192、194、197、200 输出端的电压输出正常，故输入端电压正常，因此故障信号从多路输出器 N41 指令输入端引入。

八路缓冲器 N43（见图 4）的输出管脚 12、14、16、18 脚将指令信号送入多路输出器件 D/A 转换芯片。测量 173,177 管脚信号，未发现异常。在将插针 177、173 信号送出经过 N43 后，信号未正常给出。信号正常应输送 0V 电压信号，实际却输送了 3.7V 电压信号。导致多路输出器件 D/A 转换芯片的输出异常，从而导致放大器 LM118 的输出电压异常，飞控计算机 D/A 路输出电压故障 [3]。

5 结语

飞控计算机双座输入输出 D/A 测试恒为 5V 故障，为输入输出控制板卡八路缓冲驱动器 N43 故障导致飞控计算机性能异常，更换该元器件后故障排除，为以后同类飞控计算机故障的排故提供了借鉴。

①在飞控计算机测试过程中应该针对数字模拟转换输出进行重点关注，在修理前期对改性能进行测试，及早发现剔除故障。

②八路缓冲驱动器 IDT54FCT244 在飞控计算机板卡电路中应用广泛，且大多数功能的实现都需要通过该型号器件。同时，在飞控计算机修理过程中发现比 IDT54FCT244 型芯片较容易损坏，因此在维修中应注意对使用该器件的电路重点检查，增加多形式测试手段。

参考文献

[1] 李华,范多旺.计算机控制系统[M].北京:机械工业出版社,2021.

[2] 朱小明.模拟电路与数字电路[M].北京:人民邮电出版社,2021.

[3] 罗秋凤,李勇,高振.双核DSP28335飞控计算机的抗干扰设计[J].机电工程,2021(12):118-220.

 DOI: https://doi.org/10.12349/iser.v3i1.576

Discussion on Low-wear Motor Circuit Board

Linguo Shi Yunpeng Lu Yujin Jiang Genhua Huang Chen Yuan

Quzhou Sunlord Circuit Boards Co., Ltd., Quzhou, Zhejiang, 324000, China

Abstract

Low wear motor can prolong the service life of the motor. How to reduce the loss of the motor without reducing the motor power is an important research problem in recent years. Through the development of new process circuit, on the one hand, reduce the counterweight of the rotor, on the other hand, increase the distance between PCB and magnetic cylinder, reduce the magnetic size, and then improve the service life of the flat vibration motor circuit board.

Keywords

low wear; motor line; design

浅谈低磨损马达线路板

石林国 陆云鹏 姜玉晋 黄根华 袁琛

衢州顺络电路板有限公司，中国 · 浙江 衢州 324000

摘 要

低磨损马达可以延长马达的使用寿命，在不降低马达功率的情况下如何降低马达的损耗是近些年来的一个重要研究问题，论文设计了一种长寿命扁平振动马达线路板的加工方法，可以通过开发新的工艺线路，一方面降低转子自身配重，一方面增加PCB与磁缸的距离，减小磁性大小，进而提高扁平振动马达线路板的寿命。

关键词

低磨损；马达线路；设计

1 引言

线路板又称电路板，线路板按层数来分的话分为单面板，双面板，和多层线路板三个大的分类，单面板是在最基本的 PCB 上，零件集中在其中一面，导线则集中在另一面上，因为导线只出现在其中一面，所以就称这种 PCB 叫做单面线路板，双面板是单面板的延伸，当单层布线不能满足电子产品的需要时，就要使用双面板了，双面都有覆铜有走线，并且可以通过过孔来导通两层之间的线路，使之形成所需要的网络连接，多层板是指具有三层以上的导电图形层与其间的绝缘材料以相隔层压而成，且其间导电图形按要求互连的印制板 [1]。

2 低磨损马达线路板的作用

现有的马达线路板存在着一定的缺陷，在近些年的发展过程中已经不能满足发展需求，现有的线路板在安装时，是通过向线路板上开设的定位孔内安装螺钉来进行定位安装，反复拆卸线路板，定位孔安装螺丝的位置容易出现磨损，降低维护后线路板安装固定的稳定性；另外现有的线路板还存在着容易发热，散热不及时的现象，这种现象使得线路板更容易被损坏 [2]。

3 低磨损马达线路板拟解决的问题

3.1 精准控制电阻

针对现有技术中存在的问题，本发明的目的在于提供一种具有高均匀性电阻值的线路板的加工方法，它通过对电阻图形进行定义的方式取代传统丝网印刷，利用下墨孔的开孔图形控制下墨面积，以及不同厚度的金属薄片控制下墨厚度，对电阻下墨体积进行精准控制，有效地使电阻精度公差提升至 ±10% 以内。

3.2 降低马达磨损

针对现有技术中存在的问题，本实用新型的目的在于提供一种低磨损率的马达线路板，它可以避免线路板在进行安装和堆叠存放时，产生磨损的问题。

3.3 增加马达寿命

针对现有技术中存在的问题，本发明的目的在于提供一种长寿命扁平振动马达线路板的加工方法，它可以通过开发新的工艺线路，一方面降低转子自身配重，另一方面增加 PCB 与磁缸的距离，减小磁性大小，进而提高扁平振动马

【作者简介】石林国（1972–），男，中国江西九江人，硕士，高级工程师，从事电子技术研究。

达线路板的寿命[3]。

4 设计安装方案

第一，将PCB基板进行开料、内层线路、压合、NC钻孔、去毛刺、电镀、外层线路制作；

第二，将完成外层线路的 PCB 板通过酸性除油剂进行除油以及微蚀后进行化金；

第三，将预处理完的 PCB 板送至电阻制作；

第四，将制作完成的电阻送至烤箱烘烤；

第五，将烘烤完成的 PCB 板进行校齐对位处理后，准备进行油墨印刷；

第六，将外部的下墨板放置在预处理完的 PCB 板上侧，进行阻焊印刷，下墨板内设有贯穿的下墨孔，在阻焊印刷过程中通过下墨孔的形状控制下墨面积；

第七，将印刷完阻焊的 PCB 板进行电镀镍金；

第八，将电镀金厚的 PCB 板进行外形冲切；

第九，将冲切完成的 PCB 板进行性能测试。

高均匀电阻线路板选材。

① PCB 板印刷压力为 0.1~1.0MPa。

② PCB 板表面印刷速度为 10~300mm/min。

③刮刀与 PCB 板表面夹角为 20° ~85° 。

④下墨板 11 材质为不锈钢，下墨板 11 厚度为 5~200um。

⑤下墨孔 12 长宽为 0.1~10um，下墨孔 12 形状为圆形、长方形、正方形、椭圆形其中一种。

5 具体实施方式

低磨损线路马达的加工方法，包括以下步骤：

①第一，将 PCB 基板进行开料、内层线路、压合、NC 钻孔、去毛刺、电镀、外层线路制作；第二，将完成外层线路的 PCB 板通过酸性除油剂进行除油以及微蚀后进行化金；第三，将预处理完的 PCB 板送至电阻制作；第四，将制作完成的电阻送至烤箱烘烤；第五，将烘烤完成的 PCB 板进行校齐对位处理后，准备进行油墨印刷；第六，将外部的下墨板 11 放置在预处理完的 PCB 板上侧，进行阻焊印刷，下墨板 11 内设有贯穿的下墨孔 12，在阻焊印刷过程中通过下墨孔 12 的形状控制下墨面积；第七，将印刷完阻焊的 PCB 板进行电镀镍金；第八，将电镀金厚的 PCB 板进行外形冲切；第九，将冲切完成的 PCB 板进行性能测试。

第一，PCB 板印刷压力为 0.1~1.0Mpa，具体的，PCB 板印刷压力为 0.45MPa。

第二，PCB 板表面印刷速度为 10~300mm/min，具体的，PCB 板表面印刷速度为 100mm/min。

第三，刮刀与 PCB 板表面夹角为 20° ~85° ，具体的，刮刀与 PCB 板表面夹角为 60° 。

第四，下墨板 11 材质为不锈钢，下墨板 11 厚度为 5~200um，具体的，下墨板 11 厚度为 30um。

第五，下墨板 11 开孔长宽为 0.1~10um，具体的，下墨板 11 开孔长宽为 0.8um，下墨孔 12 形状为圆形、长方形、正方形、椭圆形其中一种，具体的，下墨孔 12 形状为椭圆形，椭圆形边缘光滑，下墨厚度由下墨板 11 的厚度决定，统一性高。

②根据图 1~4 的说明进行安装，包括线路板 1 和夹持在线路板 1 左右两侧的散热防磨损机构 2；散热防磨损机构 2 包括用于将线路板 1 一端夹紧的 U 型架 201、第一凹槽 202、安装板 203、多个滑竿 204、多个弹性件 205、移动板 208、多个供滑竿 204 穿过的插槽 209 和第二凹槽 210；第一凹槽 202 和第二凹槽 210 均开设在 U 型架 201 远离线路板 1 的一端，第二凹槽 210 位于第一凹槽 202 上方；移动板 208 一端位于第二凹槽 210 内，另一端位于第二凹槽 210 外，多个滑竿 204 沿移动板 208 的长度方向间隔分布；插槽 209 开设在第二凹槽 210 内底端，插槽 209 与滑竿 204 形状相匹配；安装板 203 一端位于第一凹槽 202 内，另一端位于第一凹槽 202 外，安装板 203 上表面开设有与滑竿 204 形状相匹配的滑槽 2031，滑竿 204 一端与移动板 208 相连接，另一端穿过插槽 209 插入滑槽 2031 内；弹性件 205 固定连接在第二凹槽 210 内顶壁和移动板 208 上端面之间；U 型架 201 和滑竿 204 均为金属材质。

多个滑竿 204 的设置，相对于 U 型架 201 来说，多个滑竿 204 的设置一方面增大散热表面积，另一方面方便安装板 203 与 U 型架 201 连接。

弹性件 205 为第一弹簧，弹性件 205 的设置，方便操作人员对安装板 203 进行拆卸更换及安装，弹性件 205 给移动板 208 提供向上移动的空间，使得滑竿 204 可脱离滑槽 2031，使得滑竿 204 取消对安装板 203 的位置的限制，进而使得安装板 203 可更换；弹性件 205 给移动板 208 提供向下移动的空间，使得滑竿 204 可穿过滑槽 2031，滑竿 204 对安装板 203 的位置进行限制，使得安装板 203 安装在 U 型架 201 上。

安装板 203 上开设有至少一个安装孔 2032，安装孔 2032 位于第一凹槽 202 外，安装孔 2032 位于移动板 208 左端面所在的竖直平面的左侧，滑槽 2031 为燕尾槽。

U 型架 201 底端上开设有至少一个限位槽 206，U 型架 201 顶端设置有与限位槽 206 相匹配的限位卡柱 207，方便对线路板 1 进行堆叠，使得堆叠的线路板 1 整齐，当位于下方的线路板 1 上的限位卡柱 207 卡入位于上方的线路板 1 上的限位槽 206 内，可防止堆叠的线路板 1 在运输时，发生错位导致线路板 1 发生磨损。

U 型架 201 顶壁上开设有用于容纳限位卡柱 207 的容纳槽，容纳槽内设置有第二弹簧；第二弹簧一端与容纳槽内底端相连接，另一端与限位卡柱 207 相连接，限位卡柱 207 通过挤压第二弹簧可移入至容纳槽内，在对位于线路板 1 上方的其他部件进行安装时，按压限位卡柱 207，限位卡柱 207 通过挤压第二弹簧可移入至容纳槽内，避免限位卡柱 207 影响其他部件的安装，安装板 203 为金属材质。

当安装板 203 上的安装孔出现损坏时，可对安装板 203 进行更换，无需将 U 型架从线路板 1 上拆卸下来，减少对线路板 1 的维护及磨损。

更换安装板 203，向上推动移动板 208，移动板 208 挤压弹性件 205，移动板 208 带动滑竿 204 脱离滑槽 2031，取消滑竿 204 对安装板 203 的限制，使得安装板 203 可从第一凹槽 202 内拿出，将新的安装板 203 插入第一凹槽 202 内并将滑槽 2031 与滑竿 204 对齐，松开移动板 208，滑竿 204 在挤压弹性件 205 的带动下，滑竿 204 底端穿过滑槽 2031 并与第一凹槽 202 内底壁相抵，滑竿 204 对安装板 203 的位置进行限制，在不挤压弹性件 205 的情况下，安装板 203 无法从滑竿 204 上拿离，即安装板 203 更换操作完成。安装如以下图 1、图 2、图 3、图 4。

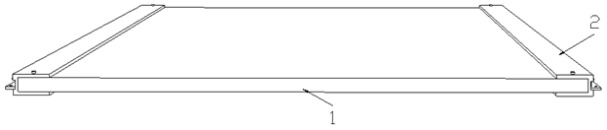

图 1 安装顺序（一）

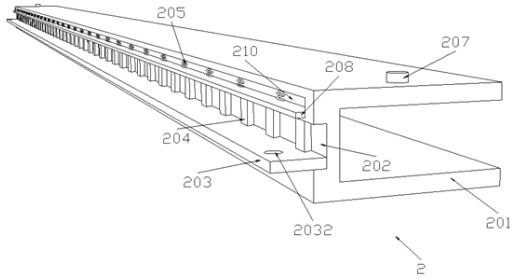

图 2 安装顺序（二）

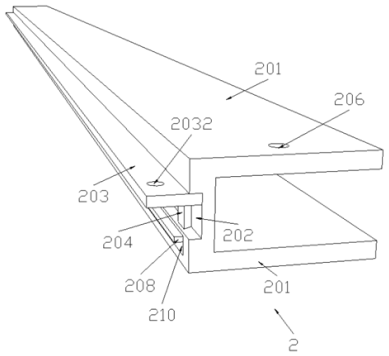

图 3 安装顺序（三）

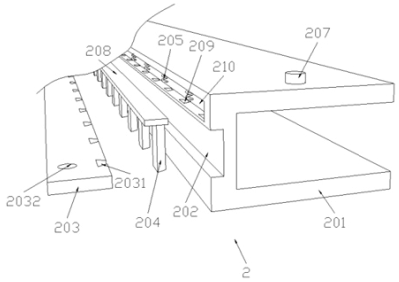

图 4 安装顺序（四）

6 效果预想

相比于传统的马达，论文涉及的低磨损线路马达具有以下优点：

①本方案通过对电阻图形进行定义的方式取代传统丝网印刷，利用下墨孔的开孔图形控制下墨面积，以及不同厚度的金属薄片控制下墨厚度，对电阻下墨体积进行精准控制，有效地使电阻精度公差提升至 ±10% 以内，本方案通过开发新的工艺线路，一方面降低转子自身配重，一方面增加 PCB 与磁缸的距离，减小磁性大小，进而提高扁平振动马达线路板的寿命。

②本方案通过下墨孔的开孔图形控制下墨面积，利用不同厚度的金属薄片控制下墨厚度，使下墨厚度由金属薄片决定，统一性较高，通过使 PCB 基材的电镀厚度降低至 25μm，可使得转子本身的总重量下降，提高 PCB 板的寿命。

③本实用通过 U 型架的设置，在线路板进行堆叠存放时，使得相邻线路板不会相互的挨着，进而避免线路板在堆叠存放时产生磨损的问题。

④本实用通过 U 型架和滑竿的设置，由于 U 型架和滑竿均为金属材质，可以对线路板进行散热，避免线路板发热因散热不及时导致线路板被损坏，通过改变第二绿油层的厚度来使 PCB 金面层与磁钢之间的距离增大，一方面可以减小电刷对 PCB 金面层的摩擦损耗，提高 PCB 板的使用寿命，另一方面可以增加磁缸的散热空间，提高磁缸的使用寿命。

7 结语

根据实践和推论，论文设计的低磨损的马达能达到以下优化效果：用下墨孔的开孔图形控制下墨面积，以及不同厚度的金属薄片控制下墨厚度，对电阻下墨体积进行精准控制，有效地使电阻精度公差提升至 ±10% 以内；下墨厚度由金属薄片决定，统一性较高；本实用通过 U 型架的设置，在线路板进行堆叠存放时，使得相邻线路板不会相互的挨着，进而避免线路板在堆叠存放时产生磨损的问题；方便对线路板进行堆叠，使得堆叠的线路板整齐，当位于下方的线路板上的限位卡柱卡入位于上方的线路板上的限位槽内，可防止堆叠的线路板在运输时，发生错位，导致线路板发生磨损；在对位于线路板上方的其他部件进行安装时，按压限位卡柱，限位卡柱通过挤压第二弹簧可移入至容纳槽内，避免限位卡柱影响其他部件的安装。

参考文献

[1] M·W·麦克弗森,A·D·赫泽尔.用于具有低损耗磁性材料的电动马达或发电机的定子及其制造方法:CN,CN103329401A[P].

[2] 张范蒙.径向变量柱塞马达用高速开关阀机理研究[D].杭州:浙江大学,2015.

[3] 高瑞荣.锆钛酸铅(PZT)系压电陶瓷的掺杂改性研究与超声压电马达的研制[D].广州:华南理工大学,2009.

Comparison of Urban Traffic Signal and Railway Signal Development for Municipal Applications

Xin Gao

China Railway Fifth Survey and Design Institute Group Co., Ltd., Beijing, 102600, China

Abstract

The paper focuses on analyzing the development status of railway and urban rail. For the future development, equipment and application, station interlocking and protection, information transmission and reception, speed measurement and ranging, summarize the similarities and differences between the two should learn from each other, absorb the advantages and disadvantages, improve the connection between urban rail and large iron, and prepare for the development of high-speed railway. At the same time combing the big iron and city rail overall framework and the mutual relationship between the signal, to a certain extent, explained the inheritance of the city rail signal and large iron signal, and find the advantages and disadvantages, comparison and analysis of the city rail system signal control becomes more reasonable and effective, thus condensed system control method.

Keywords

signal system; urban rail transit signal system; comparative study; municipal application

城市交通信号与铁路信号发展比较于市政应用

高鑫

中铁第五勘察设计院集团有限公司，中国·北京 102600

摘　要

论文着重分析铁路和城轨发展现状。面向铁路信号系统和城轨信号系统中未来发展、设备机械及应用、车站联锁及防护、信息传送和接收、测速测距等进行了对比和分析，总结了两者之间的异同；比较两者差异长短应互相借鉴，互相吸取优缺点，完善城轨和大铁的对接，为高速铁路发展做好准备。同时梳理了大铁和城轨的整体构架和两者信号间的相互关系，在一定程度上解释了城轨信号与大铁信号的继承性，并找寻了两者的优缺点，进行比较和分析将大铁系统和城轨系统信号控制变得更加合理有效，从而凝聚系统的控制方法。

关键词

铁路信号系统；城市轨道交通信号系统；比较研究；市政应用

1 引言

中国铁路至今已经历一百多年：第一条营业铁路是 1876 年通车上海吴淞铁路，已有 141 年历史；中国 1881 年第一条自主创建的铁路唐胥铁路，至今也存在 136 年了。

从往昔的人工操作，待守的臂板信号，到现在用灯光来指示信号，通过车站电气集中来提高铁路运输效率进而保证车站行车安全，微机联锁更是发展为铁路重要的信号系统。

中国铁路的一次次提速中，间接缩短了空间的距离。区间信号系统更是列车由普通铁路向高速化铁路转型的关键 [1]。

【作者简介】高鑫（1995–），男，中国河北承德人，本科，助理工程师，从事轨道交通信号与控制系统设计研究。

城市轨道交通作为城市市政建设的关键一环，地铁、轻轨、有轨电车、城际铁路都归属于城市轨道交通领域，是城市基础设施建设的重要环节，城市轨道交通改变了社会的消费、生活及生产方式，对城市的经济运作产生了深远影响。

2 城市轨道交通信号系统简介

城轨信号系统由车辆段信号控制系统和列车运行自动控制系统（ATC）两个部分组成，其拥有列车进路控制、列车间隔控制、调度指挥、信息管理、设备工况监测及维护管理等作用，是一个高效综合自动化系统。城轨系统的信号系统更是从基本的 ATC 系统向着 CBTC 系统过渡，实现更快的信号制式，实现一次一次更精准的定位停车，完成速度的飞跃。

3 铁路信号系统简介

铁路信号设备组成：信号继电器，信号机，轨道电路，

转辙机等。铁路信号设备还包括：调度监督、调度集中、车站遥控或遥信设备、机车信号、列车超速防护装置以及驼峰信号、道口自动信号及自动通知等。

4 铁路信号与城轨交通的相同和异同

4.1 铁路信号系统与城市轨道交通信号系统的相同点

城市轨道交通信号系统和铁路交通信号系统都是轨道信号的两个分支之一，两者从运营方式、应用设备、控制模式等方面都有一定的联系，城轨信号可以说是铁路信号在城市上的应用和改良。

4.1.1 城轨信号设备沿用的铁路信号的基本设备

城市轨道交通和铁路交通有基本相同的信号设备，如信号机、轨道电路、转辙机、计轴器、应答器等。

布局方式及会有一些不同，但由于设备大体相同，从而应用形式方面作用是一样的。虽然城轨中信号机放在右侧大铁在左侧但在城规中信号机柱也分为高柱信号机、矮型信号机如图 1 且都具备车载灯光进行显示且都拥有一定的信号机限界和放置指标，在作用上都是防护列车使列车安全行驶。

①正线上信号机设置。

第一，在 ATC 控制区域的线路除了有出站性质以外的其他信号机应设引导信号外都应在道岔防护信号机上设置。

第二，将出站信号机、反方向出站信号机设置在拥有 ATC 的车站。

第三，设有 ATP 系统的城市轨道，通常不设置通过信号机，由于各地的实际状况不同，从而有些股道区段要进行降级行车，从而启用信号机。

②车辆段 / 停车场的信号机设置。

第一，在车辆段 / 停车场入口应设置引导信号机和防护信号机。

第二，在每个线路的尽头都应该设阻挡信号机。

第三，在两条轨道可以同时存在的车站，或停车线中间要设有阻拦信号机进行防护，有时此信号机也能进行调车作用显示。

城轨中轨道以正线，辅助线，车厂线来分类的。但轨道电路却和大铁中几乎一样了，都是由导体，绝缘节，受电设备，送电设备，限流电阻组成，从 um71 到 ZWP2000A，工频到音频无绝缘再到数字轨道电路一次次革新发展到现在的 CBTC 中联合运用轨道电路也在不停地一步一步地前进。

至于转辙机，道岔的定反位不变，它作用也就不会变化。

计轴设备（见图 1）都是用于检测轮轴数来判断进出区段的车载数从而判断检查区间是否被占用，而现在都运用了电子计轴系统，而电子计轴系统都是以线圈互感原理形成磁通使感应交流电和发送电压相反，从而形成脉冲，交由计算机设备完成计算，一般会和应答器联合使用，在城规和大铁中两者并没有区别。

应答器分为有源应答器和无源应答器。①固定信标。②给列车传递可变信息。在城轨和大铁中两者都是器械还是没有区别。

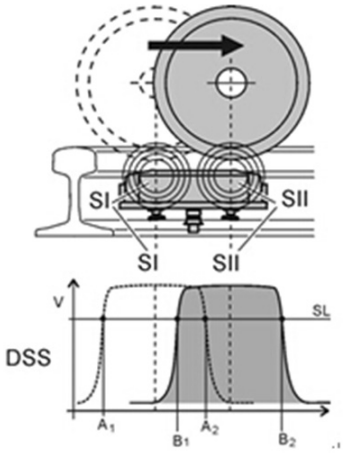

图 1 计轴设备

4.1.2 停车点防护

由于闭塞采用的是移动闭塞，大多采用的是曲线模式，从而安全停车点就尤为重要，安全停车点是基于危险点定义的，危险点是列车超越后可能发生危险的点。一般情况下我们利用 ATP 的防护作用制成如图 2 的防护曲线，在停车点前有一个危险点，保证列车不越过防护区段，也可以在防护区段前设置 5km/h 类似的，可以在中间加速或减速，停在危险点前。

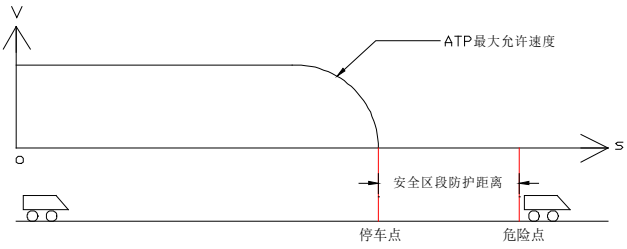

图 2 防护曲线图

4.1.3 城轨沿用了铁路基本的联锁的含义

联锁拥有铁路交通及城轨交通基本上是一致的含义，是使信号，道岔和进路建立起来的相互依靠的关系。在铁路上联锁往往局限在车站内部大部分为 6502 车站联锁，城轨联锁一般包括正线和车辆段为 CBTC 联锁。但两者作用相似如下：

①检查区段空闲。

通过轨道电路，地面设备等机械收集信息来显示前方股道是否空闲或者被占用。

②建立进路。

保证前方空闲的情况下，锁闭敌对进路和道岔，并将

此信息发送出去。

③进路解锁。

在列车离开此路段时，检查有关设备，条件，使进路回复以前空闲状态的样子。

④信号显示。

当车载信号受阻或车载设备损坏，按照后备模式，信号提示情况下运行。

⑤保护进路。

设立侧冲防护，防止其他因素产生事故。

⑥确定运行方向。

显示并设置车辆在前方股道运行方向。

⑦交换信息。

为 ATC 提供车站开关，轨旁信息有关的重要信息。

计算机联锁，在城市轨道交通中都有所采用。而计算机连锁如图 3 所示，都是人机会话层、连锁层、监控层、室外设备组成。

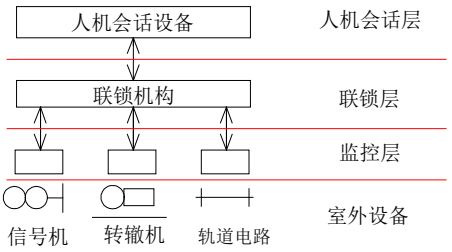

图 3 计算机联锁设备示意图

4.1.4 两者都重视速度监督与超速防护（ATP）

ATP 的速度限制分为两种：一种是固定速度限制，如区间最大允许速度，列车最大允许速度；另一种是临时性的速度限制，如面对事故维修时速度限制。

①列车最大允许运行速度；②列车最大允许速度；③区间最大允许速度。

某些特殊区域的临时限速以降低速度，功能满足了在某一特定地点低速运行的要求，如某些铁路的运行。ATP 单元作为输入，通过沟通渠道的所有临时限速发送到汽车，车载 ATP 接收从路边 ATP 授权，与相应的跟踪部分的临时限速信息一致。ATP 系统总是被密切监控以达到速度限制，一旦被超越，首先发出警告，然后紧急刹车，并作记录。

ATP 系统是 ATC 系统的安全部分，具有速度保护、零速度检测和门限等功能。ATP 提供速度限制信息，使列车在安全线之间保持平衡，使列车能够在限速的情况下运行。在联锁的区域，ATP 保证开关锁，确保只有一列火车同时占据这一段。在高速铁路和城市轨道中使用的大部分 ATP，一般是在大铁中运行，使用块调节时间控制，在之前的车辆跟踪确保其安全性和高效率。

4.1.5 测速与测距

ATP 系统使用一个安装在轮轴上的速度传感器来测量火车的速度，并在驾驶室内产生一个速度曲线。ATP 系统的列车定位是以轨道电路为基础的，在运行距离测量的轨道电路中，依赖于记录的轮转，并预测转换的车轮直径，从而求出速度和距离。

对铁路而言，运用以下 3 种传感器进行测速：

①使用高铁测速雷达。

运用开普勒原理，控制距离测出速度，保证列车安全。

②轮轴脉冲转速传感器。

在高速铁路中，轴脉冲速度传感器广泛应用于磁电、光电、离心式、霍尔式等多种速度传感器。

③惯性加速度传感器。

对城轨而言，列车测速系统作为车载系统的一部分，由采集设备、接口单元和主处理单元构成。当然采集设备也是利用以上的传感器提供给列车的感知能力，接口单元负责传输和原始数据处理，主处理单元负责计算。

而测距都是轨道电路感知辆车位置根据位置进行对比测量，测速测距几乎是同时进行，然后交给系统进行评估确定画出距离曲线 [2]。

4.2 铁路信号系统与城市轨道交通信号系统的区别

城市轨道交通信号系统和铁路信号系统在信息传导和列车控制，还有车辆运营方面都几乎，但在的终极控制理念还是有很大不同之处的：城市轨道交通更加注意交通密度，掌握列车追踪间隔是控制的核心，和铁路信号系统不仅要缩短列车追踪间隔，间隔远低于大城市铁路，更重要的是提高运行速度，增加产能。所以这两个信号系统之间的差别比一般的要大得多。以下作简要分析。

4.2.1 铁路信号系统和城轨信号系统的发展渊源不同

铁路信号系统的技术来源于独立开发开始，基本设备定位有自己的知识产权，目前高铁技术还通过引进，消化，改善——自主创新实现更大程度的本地化，基本上达到了标准统一、完整的系统，产品有自己的独立的配套科研、教育、设计、制造、施工维修团队，这是一套完整的具有中国特色的铁路信号系统。

城轨则是初期基本沿用外国的城轨经验，没有完全自主的知识产权，也没有完善的工作规范和标准。

4.2.2 信号系统的构成方式不同

城市轨道信号系统主要由 ATC 系统和车辆段联锁系统组成，ATC 由 ATS \ATO \ATP 三个系统组成。城轨车辆段类似于铁路的区段站，其行车组织工作主要包括编解、接发及调车，城轨交通车辆段的信号设备远多于其他车站，通常独立采用一套联锁装置。城市轨道交通信号灯颜色的选择，应该能够显示清晰，容易识别，容易记住和有足够的基本需求，如轨道交通规划计算机联锁的距离和铁路车站计算机联锁通用，但不同组合电路和铁路控制。

铁路信号系统包括车站联锁设备、区间闭塞设备及编组站驼峰控制系统及列车运行自动控制系统等组。车站联锁装置由一个信号、开关和开关机锁定装置、继电器、轨道电

路、计数装置、感应线圈的转发器和信号电源面板组成，利用上面的设备组合控制站在铁路信号联锁装置上。

4.2.3 闭塞制式不同导致地面 / 车上信息传输方式不同

城市轨道交通主要用于准移动闭塞或移动闭塞的区间控制。列车轨道的最小运行间隔仅为安全保护距离，在目前的速度制动中常用的最小正常轨道列车的运行速度，直到停车制动距离和安全保护距离，由列车前后的动态关系决定。

而铁路信号系统大多采用固定闭塞方式，大铁依据发展史来说人工闭塞，半自动闭塞，自动闭塞准移动闭塞到移动闭塞，还有特殊的站间闭塞等，自动闭塞常用于双线区段，半自动闭塞常用于单线区段，站间闭塞是指两站间无通过信号机使用的闭塞方式，使用较少。如今多用的是自动闭塞和站间闭塞如图 4 所示。

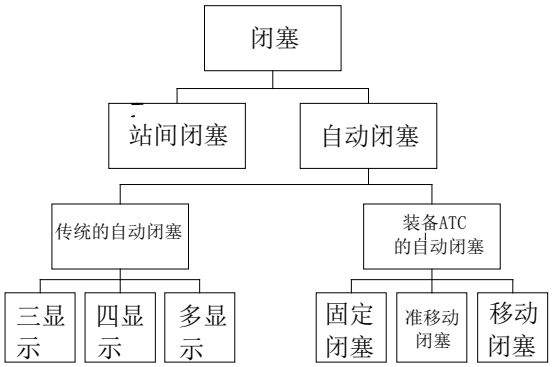

图 4 闭塞结构图

4.2.4 车门控制

城轨车门控制远远高于铁路，在城轨中 ATP 系统有开关，检测车门的作用。如图 5 所示车载系统发送指令直到屏蔽门动作都是 ATP 控制。

在铁路系统中，除高铁外几乎都是人工开关门，由乘务员在列车停稳后手动开门而在列车开始运行前开始关门在而高铁老车是在高铁列车进站。停稳后，司机会按下全列车车门打开的按钮，随后全列车车厢靠着站台一侧的车门就会打开。新车则是自动化控制。

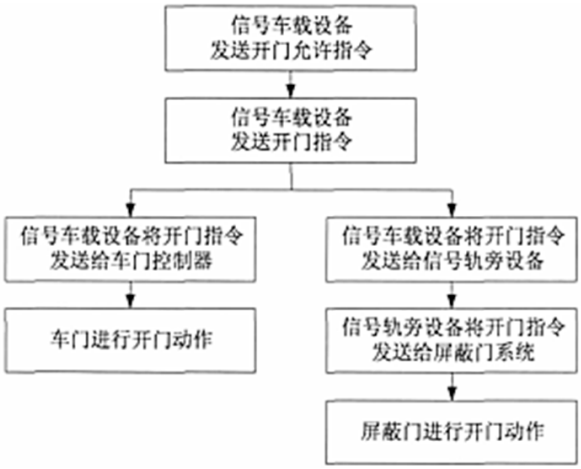

图 5 车门开门流程图

4.2.5 行车间隔不同

城轨和铁路相比，城轨有一个明显的特点是密度高，效率快，如今修筑的城轨和地铁，往往都提出列车间隔在 2min（甚至 90s）左右的要求。为了有更高的安全保证，城轨的监控系统也比大铁灵敏，耐用，精度高得多。

对于大铁而言，因为是远程所以运用的行车闭塞，不可能有 2min 的要求，由于中国国运用的是区间闭塞而非时间闭塞，闭塞分区也是有长度的，大体为 1200~1500m[3]。

5 结语

综上所述，铁路信号系统和城轨信号系统相比较，存在很多不同，但高速铁路与城市轨道交通信号系统相比，列车运行控制系统基本理念一致，目前，中国应将某些城轨控制技术移植向高速铁路，但高速铁路具有闭塞分区长，行车速度快、联锁及道岔控制复杂等特点，所以高速铁路应针对自己的特点在城市轨道交通列车运行控制系统的基础上进行改造和创新。

城市轨道交通信号的发展，是市政建设迈向现代化、自动化、智能化的需要组成部分，城市轨道交通的发展水平，是检验城市市政建设水平的重要指标。

参考文献

[1] 林瑜筠.城市轨道交通信号[M].北京:中国铁道出版社,2008.

[2] 林瑜筠.计算机联锁[M].北京:中国铁道出版社,2010.

[3] 杨光,唐侦敏.几种典型的轨道交通运行控制系统的比较研究[J].铁道学报,2009,31(1):6.