[弱电系统]

现代医院智能化弱电系统设计与优化

文/陈光兵
中通服咨询设计研究院有限公司

为打造现代化智慧医院，提高系统运行效率与质量，结合实际医院建设改造项目，探讨弱电系统的基础框架，并从通信网络系统、安全防范系统、信息发布与显示系统以及呼叫与应急报警系统这四个部分阐述设计要点。通过对医院内部弱电系统现状调查明确当前改造重点，提高系统集成性与智慧程度，打造符合现代化需求的医院管理模式。结果显示，此次设计能够有效降低网络宽带延迟问题，提升功能实现度，并提出持续改进机制，保证系统稳定高效运行。

随着现代医疗技术的不断进步，医院对智能化弱电系统的需求日益增长。现有系统由于设计时间较久，设备陈旧，难以满足高效、稳定的运行要求。智能化弱电系统集成综合布线、计算机网络、通信、安防、广播及楼宇自动化等多个子系统，其设计优化对提升医院的整体运营效率与服务质量具有重要意义。

工程简介

某医院智能化弱电系统建设改造项目，涵盖医院综合楼、门诊楼和住院楼的弱电系统设计与实施。项目总建筑面积12 584 m^2，涉及医疗信息化、通信、安防、广播及楼宇自动化等多个子系统。该医院智能化弱电系统需满足日均5 000人次以上的就诊需求，实现高效的患者管理、医疗资源调配及信息化服务。

项目设计采用模块化设计理念，此次主要针对通信网络系统、安全防范系统、信息发布与显示系统以及呼叫与应急报警系统这四个部分展开研究。目前该医院系统运行时间超过十年，设备陈旧，性能下降，难以满足现代医院对高效、稳定的运行需求。各子系统之间缺乏有效的集成与协同，导致数据孤岛现象严重，信息共享与联动响应效率低下，无法实现统一管理。网络带宽不足，导致数据传输速率低，影响日常运营。

智能化弱电系统基础设计

1. 弱电系统框架

智能化弱电系统的总体框架设计以建立高效、可靠和可扩展的综合管理平台为目标。整个系统分为三层架构：核心层、汇聚层和接入层。核心层负责数据中心和主干网络，采用高性能核心交换机与路由器，确保数据传输的稳定性。汇聚层连接核心层与各楼宇的子系统，利用光纤与千兆以太网，实现数据的高效汇聚与分发。接入层通过边缘交换机与无线接入点，为各子系统终端设备提供接入服务，确保系统的灵活性与可扩展性。

弱电系统划分为多个功能模块，每个模块独立运行并与其他模块协同工作。主要模块划分如图1所示。

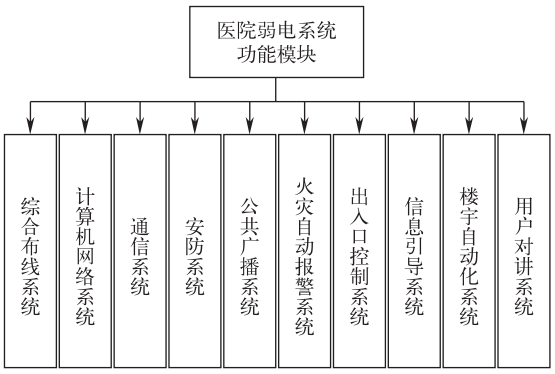

图1　弱电系统功能模块

2. 系统组成

2.1 通信网络系统

有线通信网络设计采用高性能核心交换机与路由器，核心层使用万兆以太网交换机，通过光纤主干连接各楼宇的汇聚层交换机，确保大容量数据传输。接入层部署千兆以太网交换机，为终端设备提供稳定的网络接入。无线通信网络设计采用企业级无线接入点（AP），覆盖医院的所有主要区域，包括门诊、病房、手术室和公共区域，提供无缝的无线网络接入。

在通信网络系统设计中引入网络冗余与容错机制，通过多层次设计保证系统可靠性。为提升网络的整体性能，在核心交换机与接入层交换机之间设置冗余链路，并采用生成树协议 (STP) 防止网络环路，增强网络的稳定性与容错能力。STP算法的根桥选择规则为：①比较所有桥的桥ID，选择最低桥ID的桥作为根桥；②计算每个非根桥到根桥的路径成本，选择路径成本最小的路径；③在路径成本相同时，选择桥ID最小的桥作为路径的一部分。

具体的路径成本计算公式为

$$C=\sum_{i=1}^{n}c_i \tag{1}$$

式中，C为总路径成本；c_i为第i条链路成本；n为链路数量。

在网络冗余方面，采用链路聚合控制协议（LACP）实现链路聚合，提升带宽利用率，保证连接可靠性。LACP协议通过协商管理多条链路的捆绑，实现冗余链路的负载均衡。负载均衡算法公式为

$$\mathrm{Load}_i=\frac{R_i}{\sum_{i=1}^{n}R_i} \tag{2}$$

式中，Load_i为第i条链路的负载；为第i条链路的传输速率。

通过虚拟路由冗余协议（VRRP）配置双路由器热备份，确保在单个路由器故障时，网络仍可维持正常运行。VRRP的工作机制是通过定期发送VRRP广播报文确定主备路由器状态，当主路由器故障时，主备路由器自动接管其IP地址与MAC地址。

2.2 安全防范系统

在打造医院智能化弱电系统时，应重点关注安全防范系统，此次针对该系统的设计主要包括视频监控、门禁以及一卡通系统。

视频监控系统采用高清摄像头、网络视频录像机（NVR），覆盖医院内外的关键区域。高清摄像头使用H.265编码技术，降低带宽与存储需求。摄像头通过PoE交换机连接至NVR，实现集中管理与存储。系统支持智能视频分析（IVA），包括人脸识别、行为分析和区域入侵检测，提高安全事件的实时检测能力。视频流的传输与存储利用H.264/H.265视频压缩算法减少带宽与存储需求，压缩算法的计算公式为

$$R=\frac{S}{T} \tag{3}$$

式中，R为压缩后的视频比特率；S为压缩前的视频大小；T为压缩时间。

摄像机之间通过交换机连接至NVR，NVR采用RAID 5存储技术，提高数据存储的可靠性，保证读取速度[1]。

门禁系统利用多种身份认证技术，包括RFID卡、指纹识别和人脸识别，确保人员进出安全。门禁系统集成报警联动功能，与视频监控系统联动，当检测到异常时自动触发报警，并在监控中心显示相关视频。该系统核心在于身份认证，其中生物识别技术如指纹识别采用模式匹配算法，匹配度计算公式为

$$M=\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i-y_i)^2}{n} \tag{4}$$

式中，M为匹配度；x_i和y_i分别为输入指纹和数据库中指纹的特征向量；n为特征向量长度。

当M小于预设阈值时，判定为匹配成功。门禁控制器通过控制继电器开关，实现对门锁的控制，

保证人员进出的安全性与可控性。

2.3 信息发布与显示系统

医院信息发布与显示系统能够展现其智能化水平，应构建数字标牌系统，采用高分辨率显示屏与嵌入式控制器，安装在医院的各个关键位置，如大厅、走廊和候诊区。显示屏通过局域网与中央管理服务器连接，实现远程内容发布，做到实时更新。系统支持多种媒体格式，包括视频、图片和文本，利用HTML5技术确保内容的丰富性与互动性。通过自动化排程功能，数字标牌系统能根据时间表自动切换显示内容，提供实时的医院信息、健康教育和紧急通知。

2.4 呼叫与应急报警系统

在医院智能化弱电系统设计时，应从提升内部沟通效率与应急响应能力的角度出发，建设病房呼叫系统与紧急报警系统。

病房呼叫系统采用双向对讲技术，实现患者与护士站之间的实时语音沟通。系统由床头呼叫器、走廊显示屏和护士站主机组成。床头呼叫器通过有线连接至床头终端，患者按下呼叫按钮即可与护士站建立通话。走廊显示屏实时显示呼叫信息，包括病房号、呼叫状态[2]。护士站主机配备触摸屏与多路音频接口，支持多通道呼叫管理与优先级处理。呼叫信号传输基于TCP/IP协议，确保信号传输的稳定性与实时性。通信主机的核心算法为信号处理算法，计算公式为

$$S(t)=A\sin(2\pi ft+\phi) \tag{5}$$

式中，$s(t)$为时间t时刻的信号强度；A为信号振幅；f为信号频率；ϕ为相位。

系统通过分析信号的振幅、频率，判断呼叫信号的有效性与优先级。

紧急报警系统由报警按钮、报警主机和响应设备组成，用于在紧急情况下提供快速响应。报警按钮分布在各关键位置，按下按钮时，信号通过无线或有线网络传输至报警主机。报警系统的信号处理采用离散傅里叶变换 (DFT) 算法，分析信号频谱算法为

$$X(k)=\sum_{n=0}^{N-1}x(n)\cdot e^{-j2\pi kn/N} \tag{6}$$

式中，$x(k)$为频域信号；$x(n)$为时域信号；N为信号采样点数。

通过DFT算法，系统能够快速准确地识别紧急信号，提高响应速度。

优化设计

1. 需求分析

为进一步实现智能化的弱电系统设计与管理，提高医院运营效率，研究通过实地考察医院的现有弱电系统，记录各子系统的布局、连接方式和运行状态。并组织各科室与部门的座谈会，收集医生、护士、管理人员和技术支持人员的意见和建议，了解他们在日常工作中遇到的具体问题与需求。发放问卷调查系统性能、功能，确保获取全面、准确的数据。同时，还对历史数据进行细致分析，调取系统日志与故障记录，评估系统的稳定性与性能瓶颈。调查结果显示，目前医院弱电子系统之间缺乏有效的集成，由于每次进行系统升级时局限于单一系统，导致存在数据共享与综合管理障碍，部分科室数据孤岛问题严重[3]。此外，医院现有网络带宽不足，无法支持高清视频监控与大量医疗数据的实时传输。网络延迟与数据处理速度不满足现有需求，导致系统响应时间过长，影响医疗服务效率。对于核心设备方面，未配置冗余，单点故障风险高，网络层面缺乏路径冗余机制，发生网络故障时难以快速切换。

2. 系统优化方向

2.1 性能优化

针对性能的优化，主要围绕医院当前网络延迟问题与系统响应速度问题，以确保智能化弱电系统的高效运行。在实际建设时应升级核心网络设备，如采用支持万兆以太网的高性能设备，确保主干网络的高带宽与低延迟。汇聚层与接入层采用千兆以太网交换机，确保各楼层与终端设备的高速连接。此外，增加链路聚合（LACP）和快速生成树协议（RSTP）技术，以提高网络冗余和负载均衡能力，减少网络延迟。网络优化还包括优化无线网络覆盖，部署支持802.11ac/ax标准的企业级无线接入点（AP），确保医院各区域的无线网络信号强度与覆盖范围。AP之间通过无线控制器进行集中管理，并优化配置，自动调整信道与功率，避免干扰，提升网络稳定性[4]。应用层优化包括采用微服务架构，将单一的应用系统拆分为多个独立的服务模

块，使用容器化技术（如Docker）和编排工具（如Kubernetes），实现服务的动态调度和扩展。通过负载均衡器（如Nginx或HAProxy），将请求分配到不同服务器，避免单点负载过高，提高系统的并发处理能力。

2.2 功能拓展

为进一步提升用户体验，保证医院智能化弱电系统整体性，需要对原有子系统升级不规范，升级后系统与原系统之间的连接等问题进行优化，实现功能拓展。可以增加物联网（IoT）设备，覆盖更多医疗设备、病房环境监控以及资产管理，实现设备状态实时监控、故障预警和远程维护。同时整合智慧病房系统，利用智能床垫、智能输液泵和智能护理记录，实现对患者的全面监护与个性化护理。

医院还可引入智能导诊机器人，通过自然语言处理（NLP）和语音识别技术，提供智能问答、路径引导以及信息查询服务，提高患者就诊体验。门诊与住院流程的自动化也将进一步优化，包括自助挂号、自助缴费和电子病历系统的无缝衔接，减少患者等待时间与医院运营成本。

2.3 可靠性优化

系统备份与恢复策略是确保数据安全与系统可靠运行的核心。采用基于快照和增量备份的混合备份策略，每日进行数据快照，保存系统状态，定期进行增量备份，记录数据变化。使用企业级备份软件（如Veritas NetBackup、Veeam Backup 和Replication），确保备份过程自动化、高效化[5]。备份数据存储在独立存储设备与异地数据中心，防止本地灾难造成的数据丢失。恢复策略则包括快速恢复和完整恢复，确保在数据损坏或丢失时能够迅速恢复关键业务系统和数据。

优化评估与持续改进机制

为验证此次设计的有效性，搭建实验平台，分别对原系统和优化后的系统进行同样的测试。测试环境相同，确保数据的可比性。使用专业测试工具（如Ixia IxNetwork、JMeter、Nagios）对系统进行全面评估，收集详细的性能、功能和可靠性数据，结果见表1。

实验结果表明，优化后的系统在各项指标上均有显著提升。网络带宽提升至原系统的10倍，网络延迟减少80%，系统响应时间缩短75%，功能实现度提高35.7%，系统故障恢复时间缩短83.3%。数据表明优化设计能够系统的性能、功能和可靠性。

表1　测试结果

指标	原系统	优化后系统	提升率（%）
网络带宽 /（Gbit/s）	1.2	9.8	716.7
网络延迟 /（ms）	48.5	9.7	−80.0
系统响应时间/（ms）	192.3	46.8	−75.7
功能实现度（%）	68.4	95.2	39.2
系统故障恢复时间/min	27.6	4.8	−82.6

为保证医院系统运行稳定性，研究提出制定持续改进机制，包括定期评估、反馈和优化。每季度进行系统评估，使用同样的测试方法与指标，确保系统始终处于最佳状态。根据评估结果，分析系统瓶颈与改进空间，制定优化方案并实施。建立反馈机制，收集用户与技术人员的意见，及时发现并解决问题。

结束语

综合来看，医院作为社会民生工程的重要组成部分，在智能化建设中对弱电系统的升级与改造工作，能够有效提高用户体验感，保证医院系统运行效率。在实际建设中，应贴合当下实际需求，不断引入先进技术方法，提高系统集成性的同时保证信息传递速率，构建多接口模式帮助系统拓展功能，推动医院信息化持续建设发展。EA

（收稿日期：2024-09-11）

参考文献

[1] 张通鑫，郭科，王国宏，等．公立医院一院多区规划建设问题与对策[J]．中国医院建筑与装备，2023，24(12)：3-8．

[2] 仇晓华．综合体建筑弱电智能化工程设计[J]．信息系统工程，2023，(5)：58-60．

[3] 陈熙聪．关于某市传染病医院智能化系统设计分析[J]．智能建筑与智慧城市，2023，(3)：129-131．

[4] 高曙明，赵炳会．医院弱电工程的质量控制与施工管理要点[J]．中国医院建筑与装备，2022，23(4)：70-71．

[5] 高磊．智能化医院工程建设管理分析[J]．工程建设与设计，2021，(22)：215-217．