



01  
2026

Information Science and Engineering Research

# 信息科学与工程研究

Volume 7 Issue 1 January 2026 ISSN 2737-4815(Print) 2737-4823(Online)



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



中文刊名：信息科学与工程研究

ISSN: 2737-4815 (纸质) 2737-4823 (网络)

出版语言：华文

期刊网址：http://journals.nassg.org/index.php/iser

出版社名称：新加坡南洋科学院

Serial Title: Information Science and Engineering Research

ISSN: 2737-4815 (Print) 2737-4823(Online)

Language: Chinese

URL: http://journals.nassg.org/index.php/iser

Publisher: Nan Yang Academy of Sciences Pte. Ltd.

## 《信息科学与工程研究》征稿函

### Database Inclusion



Google Scholar



Crossref



China National Knowledge Infrastructure

### 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



### 期刊概况：

中文刊名：信息科学与工程研究

ISSN: 2737-4815 (Print) 2737-4823(Online)

出版语言：华文刊

期刊网址：http://journals.nassg.org/index.php/iser

出版社名称：新加坡南洋科学院

### 出版格式要求：

- 稿件格式：Microsoft Word
- 稿件长度：字符数（计空格）4500以上；图表核算200字符
- 测量单位：国际单位
- 论文出版格式：Adobe PDF
- 参考文献：温哥华体例

### 出刊及存档：

- 电子版出刊（公司期刊网页上）
- 纸质版出刊
- 出版社进行期刊存档
- 新加坡图书馆存档
- 中国知网（CNKI）、谷歌学术（Google Scholar）等数据库收录
- 文章能够在数据库进行网上检索

### 作者权益：

- 期刊为 OA 期刊，但作者拥有文章的版权；
- 所发表文章能够被分享、再次使用并免费归档；
- 以开放获取为指导方针，期刊将成为极具影响力的国际期刊；
- 为作者提供即时审稿服务，即在确保文字质量最优的前提下，在最短时间内完成审稿流程。

### 评审过程：

编辑部和主编根据期刊的收录范围，组织编委团队中同领域的专家评审员对文章进行评审，并选取专业的高质量稿件进行编辑、校对、排版、刊登，提供高效、快捷、专业的出版平台。

# 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

彭照阳 Zhaoyang Peng

李 砚 Yan Li

朱朝阳 Chaoyang Zhu

房锐波 Ruibo Fang

张 力 Li Zhang

- 1 复杂天气下自动驾驶道路语义分割识别算法  
/ 陈晋龙
- 4 基于毫米波雷达及红外成像的人体存在动态检测系统研究  
/ 姜元亭 杨琳琳 韩忠峰
- 7 基于视频图像对车速的鉴定方法分析  
/ 刘鑫
- 11 炼钢厂原料库无人驾驶智能调度应用实践研究  
/ 李海鹏
- 14 医疗设备计算机集成系统的故障诊断与维护  
/ 郑平真
- 17 灯光亮化工程信号放大器一拖二传输方式选择优势和应用  
/ 王家强
- 20 基于 SaaS 模式的云安全在中小企业的技术应用与创新探索  
/ 朱亚俊
- 23 绿色施工视角下高速公路建设成本动态控制研究  
/ 罗毅 文明 苏万章
- 26 基于动态数据字典的卫星终端嵌入式软件 OTA 方案  
/ 孙天龙
- 29 通信企业营销渠道拓展与市场覆盖率提升措施  
/ 马漪涛
- 32 网络安全攻击与防御技术研究与实践  
/ 李哲
- 35 AI 在通信运营的个性化营销中应用研究  
/ 郭彬彬
- 38 医共体信息化平台架构设计与数据互通策略研究  
/ 寿伟
- 41 基于超融合架构的企业多业务服务器的部署与实践  
/ 安顺 闫德帅
- 44 政数协同——宿迁京东物流数字化转型范式  
/ 胡悦 端木家梁 李延莉
- 47 大数据驱动电力企业信息化转型路径探索  
/ 邱慧
- 50 基于 AI 的 6G 基站网络管理与资源编排研究  
/ 宋照红
- 53 数字技术赋能招标代理智能服务与咨询业务融合创新发展策略  
/ 范志新
- 56 嵌入式软件性能提升关键技术研究  
/ 王立锟

- 1 Road Scene Semantic Segmentation Algorithm for Complex Weather Condition  
/ JinLong Chen
- 4 Research on Human Presence Detection System Based on Millimeter Wave Radar and Infrared Imaging  
/ Yuanting Jiang Linlin Yang Zhongfeng Han
- 7 Analysis of the vehicle speed identification Method Based on Video Images  
/ Xin Liu
- 11 Application Practice Research on Intelligent Scheduling of Autonomous Vehicles in Raw Material Warehouses of Steel Mills  
/ Haipeng Li
- 14 Fault Diagnosis and Maintenance of Medical Equipment Computer Integrated Systems  
/ Pingzhen Zheng
- 17 The advantages and applications of the one-to-two transmission mode selection for signal amplifiers in lighting beautification projects  
/ Jiaqiang Wang
- 20 Application and Innovation of Cloud Security Based on SaaS Model in Small and Medium-sized Enterprises  
/ Yajun Zhu
- 23 Research on Dynamic Control of Highway Construction Cost from the Perspective of Green Construction  
/ Yi Luo Ming Wen Wanzhang Su
- 26 The embedded-Software Online Incremental updating scheme for Satellite embedded devices  
/ Tianlong Sun
- 29 Measures for Expanding Marketing Channels and Increasing Market Coverage in Telecommunications Enterprises  
/ Yitao Ma
- 32 Research and Practice of Cybersecurity Attack and Defense Technologies  
/ Zhe Li
- 35 Application Research of AI in Personalized Marketing of Communication Operation  
/ Binbin Guo
- 38 Research on architecture design and data exchange strategy of medical community information platform  
/ Wei Shou
- 41 Deployment and Practice of Enterprise Multi-Service Servers Based on Hyper-Converged Infrastructure  
/ Shun An Deshuai Yan
- 44 Government-Digital Synergy: The Digital Transformation Paradigm of Suqian JD Logistics  
/ Yue Hu Jialiang Duanmu Yanli Li
- 47 Exploration of the Path of Power Enterprise Informatization Transformation Driven by Big Data  
/ Hui Qiu
- 50 Research on AI-based 6G base station network management and resource orchestration  
/ Zhaohong Song
- 53 Digital Technology Empowers the Integration and Innovation Development of Intelligent Service and Consulting Business of Bidding Agency  
/ Zhixin Fan
- 56 Research on Key Technologies of Embedded Software Performance Improvement  
/ Likun Wang



# Road Scene Semantic Segmentation Algorithm for Complex Weather Condition

JinLong Chen

College of Artificial Intelligence, Gansu University of Political Science and Law, Lanzhou, Gansu, 730070, China

## Abstract

With the widespread application of intelligent unmanned driving technologies, road drivable area detection has become increasingly important. In complex climatic environments, various weather-related interfering factors can lead to low detection accuracy and high false positive rates. To address this, a road semantic segmentation algorithm for complex weather conditions is proposed. First, a Cascaded Attention Encoder module is designed. It employs a cross-stage efficient attention mechanism to achieve global road boundary modeling and collaborative perception for segmenting various objects. Images are split into patches via overlapping embedding blocks and fed into a Transformer encoder to obtain multi-level features at the original image resolution.. Next, a lightweight decoder called Light ALL-MLPs is introduced. Its progressively stacked modules gradually generate the output sequence, Finally, a Gram matrix impurity filter is used to extract factors related to fog, rain, snow, and sandstorms. This reduces the discrepancy between images with different impurity levels within the segmentation model's style space. Combined with feature fusion, it achieves adaptive filtering of fog, rain, snow, and dust impurities.

## Keywords

Drivable Area Detection; Semantic Segmentation; Impurity-pass Filtering; Cascade attention

# 复杂天气下自动驾驶道路语义分割识别算法

陈晋龙

甘肃政法大学人工智能学院, 中国 · 甘肃 兰州 730070

## 摘要

随着智能无人驾驶技术的广泛应用, 道路可行驶区域检测变得越来越重要。针对复杂气候环境中, 各种天气的干扰因素均可能导致检测精度低下和高误检率。为此, 提出了面向复杂天气环境下的道路语义分割算法。首先, 设计了级联注意力编码器模块, 通过跨阶段高效注意力机制实现全局道路边界建模和分割各类物体的协同感知, 通过重叠嵌入块分割成补丁输入给Transformer编码器以获得原始图像分辨率的多级特征多分支自注意力; 接着, 引入了一个Light ALL-MLPs轻量级的解码器, 逐层堆叠的模块逐步生成输出序列。最后, 通过Gram矩阵杂质滤波器提取雾、雨、雪、风沙等相关因素, 减小不同杂质度图像在分割模型风格空间中的差异, 结合特征融合实现雾、雨、雪、沙尘杂质的自适应过滤。

## 关键词

可行驶区域检测; 语义分割; 杂质过滤; 级联注意力

## 1 引言

随着人工智能技术的快速发展, 语义分割和目标跟踪技术的结合促进了自动驾驶技术迅速发展, 目前的摄像头可以获取道路场景的可行驶区域, 为安全驾驶提供了安全保障。虽然激光雷达技术更为先进, 在考虑成本太情况下, 基于单目摄像头的语义分割技术具有更好的应用价值。目前主流分割技术网络有 OpenMMLab 社区的 MMsegmentation、SegFormer<sup>[1]</sup> (Xie 等, 2021)、DeepLabV3+<sup>[2]</sup> (Chen 等, 2018)、ResNet<sup>[3]</sup> (He 等, 2016), 这些主流的分割技术

拥有很高的精确度, 但是在强光或者雷雨特殊天气下会出现明显的道路分割误差, 算法无法适应复杂交通道路环境, 在实际使用中局限性较大。

## 2 相关工作

### 2.1 总体网络结构

随着视觉 Transformer 模型的提出, 众多研究人员开始专注于语义分割模型的优化工作。通过持续的模型迭代与改进, 模型在提升分割精度和效率方面表现出显著优势。本文提出的级联注意力分割模型是由骨干网络、多分支自注意力机制模块、级联注意力编码器和 Light ALL-MLPs 轻量级解码器四个部分组成。主体框架的算法是基于混合型 Transformer 编码器, 采用主干网络对输入图像进行深层语义特征提取。

【作者简介】陈晋龙 (2000-), 男, 中国河北保定人, 硕士, 从事计算机视觉研究。

首先，通过重叠块嵌入对图像进行编码时将图形划分为多个具有重叠块的局部块，每个局部块为固定的大小矩形区域，相邻块之间通过设定一定的步长实现重叠，这种架构设计提升了模型在细节处理与全局信息捕捉上的能力，使其在复杂图像场景下表现出更高的分割精度。再引入杂质过滤模块用于提取复杂天气图像中的低光、雨痕、雾霾等杂质特征，并通过嵌入向量精确量化，辅助模型学习和表征，从而达到过滤杂质的目的，学习风格中提取的与杂质相关的因素。最后，采用交叉熵损失函数，综合考虑了语义分割中边界模糊、前后空间关系的因素。总体设计为编码-解码器的架构，使用级联分割网络先进行粗略分割任务，再细化具体边缘的分割细节，通过逐层优化的方式逐渐提高质量。再引入补丁判别器，以关注图像中更细小的区域特征，从而提升对局部区域一致性及细节质量的检测能力。随后，通过纹理判别器进一步细化处理，将关注范围缩小至更小的图像区域，以增强对局部细节的分割精度。

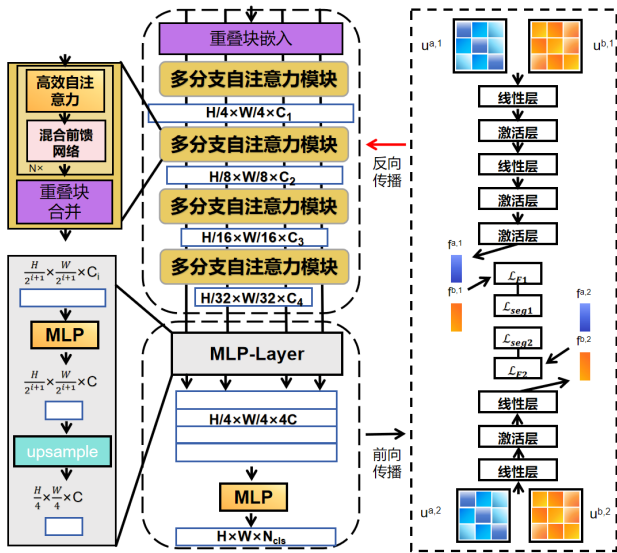


图 1 级联自注意力机制总体模型结构

## 2.2 级联注意力编码器模块

该模型通过多分支结构构建全局和局部自注意力窗口，以提高特征建模的灵活性和表达能力。每个输入的嵌入维度 (Embedding Dim)、头数 (Head) 和维度 (Dim) 都经过精心定义，以确保输入能够有效划分为窗口块和数字序列 (Sequence)。通过这种结构设计，模型能够在全局范围内捕捉长距离依赖，同时在局部范围内聚焦细节，提升了特征的多尺度表达能力，进一步增强了自注意力机制的效果。这些划分好的序列被转化为感受野 (Receptive Field) 分辨率，从而为模型提供了对图像不同局部和全局关系的深入理解。通过这种方式，模型能够更精确地捕捉图像中复杂的空间依赖和语义联系，使得每个序列在感受野内的表现更加细致，进一步增强了图像特征的表达能力和模型的推理能力。

在复杂的城市交通环境中，行人、非机动车和机动车

的高密度共存通常会导致车道线出现遮挡或缺失现象。此外，恶劣天气条件及夜间光照不足等因素也对复杂道路的检测与语义分割带来了极大挑战。在研究现有道路感知算法<sup>[15]</sup>方法的基础上，设计出一种改进的 Transformer 结构。该结构针对道路环境中的特定挑战进行了优化，能够更有效地捕捉多尺度空间特征和语义信息，从而提升复杂场景下的感知精度和鲁棒性。

在多分支自注意力模块中，首先对图像进行块级序列化处理，将其转换为序列格式后输入到双分支通道中。每个通道接着通过  $1 \times 1$  卷积层，实现通道数的调整并引入非线性变换，以增强特征的表达能力和模型的灵活性。此过程不仅有效地适配了通道维度，还显著增强了特征表示的非线性表达能力，从而提升了模型对复杂模式的捕捉和适应能力。在卷积操作后引入批归一化 (BN) 层，以确保图像块中的各像素维持在一致的数值范围内，从而加速训练过程并提升模型的稳定性与收敛性。为降低计算负担，模型引入了 Transformer 的多头自注意力机制以完成整体运作。此机制能够在不同头之间并行计算注意力权重，从而高效捕捉特征间的关联，显著提升模型的计算效率与特征表达能力。表示为：

$$Attention(Q, K, V) = (head_0 \oplus \dots \oplus head_n) W^0 \quad (1)$$

通过使用爱因斯坦求和约定 (einsum)<sup>[14]</sup> 计算键值对的矩阵积，并得到注意力得分矩阵。该模型采用高效的多头注意力机制，每一个 head 都包含查询 (Query, Q)、键 (Key, K)、值 (Value, V) 三个关键元素。各个 head 可以并行地捕捉不同的特征关系，增强了模型对输入特征的全面理解。多层注意力结果最终汇聚为总体输出注意力，使得模型能够从不同视角整合信息，从而更精确地建模输入特征间的复杂依赖关系。使用掩码 (Mask) 将其注意力用到注意力得分矩阵上，再采用 softmax 函数对其得分进行归一化处理。

$$Attention(Q, K, V) = \sum_{i=1}^n Softmax\left(\frac{QK^T}{\sqrt{d}}\right) \quad (2)$$

在该模型中，K 和 V 分别表示通过特征映射生成的键 (Key) 和值 (Value)，而 Q 表示对应的查询 (Query)。这些映射通过模型能够有效计算输入特征之间的关系，对特征进行精细化处理，从而得到更具判别力的输出特征。在多头注意力机制中  $head_0$  到  $head_n$  中，一组  $head_0$  到  $head_{n_2}$  用于高频特征从而精确捕捉细节；另一组  $head_{n_2}$  到  $head_n$  用于低频特征以抓取整体结构信息，并在最终进行拼接 (Concat) 提供全局信息。 $WO$  表示输出的注意力权重矩阵，用于整合多头注意力机制的各个头的结果，从而生成最终的特征表示。双通道特征通过矩阵逐元素相加实现拼接融合，随后引入 ReLU 激活函数层以增加非线性，从而有效缓解梯度消失问题，提升了模型对复杂特征的捕捉能力，使其能够更准确地表达多层次信息。特征图经过一个  $5 \times 5$  的最大池化层处理，最大池化操作通过选择局部区域中的最大值，既能有效

减少特征图的尺寸，又能够保留图像中的重要空间信息。这种方法使得模型对显著特征更加敏感，同时增强了对细节信息的捕捉能力，有助于提高模型的鲁棒性和泛化能力。接下来，引入批归一化（BN）层以进一步标准化数据特征。批归一化层通过调节数据的均值和方差，确保各特征维持在相对稳定的数值范围内，从而加速模型的训练过程，提升模型的稳定性和泛化能力。

$$F(x_i, x_j) = \frac{x_i * x_j}{|x_i| |x_j|} * g(x_i, x_j) \quad (3)$$

输入的张量  $X$  是由  $x_i, x_j$  两个不同的矢量组成， $g(x_i, x_j)$  表示张量的拉伸，并通过一层前馈神经网络逼近输入和输出之间的复杂映射关系。模型能够根据不同层次的特征来提升特征信息的提取能力，从而更好地捕捉输入数据的深层语义。最终，通过 Sigmoid 激活函数层将输出压缩到 (0, 1) 的范围内，从而生成归一化的图像特征。这一步确保了输出特征的数值稳定性，并为后续任务提供了标准化的特征表示，有助于提升模型的泛化能力和预测效果。

## 2.3 轻量化 Light ALL-MLP 解码器

### 2.3.1 解码器结构

多分支自注意力模块的输出（特征序列）形成四个通道，直接作为解码器模块的输入，确保信息在编码器和解码器之间顺畅传递。轻量级 MLP 解码器，仅仅由 MLP 层组成，为了避免其他方法中通常使用的计算量巨大和人工设计的组件模块。四个不同分辨率的通道特征，经过 MLP-Layer 层内部的上采样层拼接为 4 个相同分辨率的通道数，统一为一样的分辨率，通过编码器的多级特征进行多维度统一。接着经过 MLP 模块，负责对提取的特征进行解码和非线性变换，通过样条函数和多层结构进一步提升特征的表达能力，提取出语义的掩码  $M$  所需要的数量  $N_c$ ，上采样后的特征被进行拼接。最后经过与杂质过滤模块进行相互反向和正向传播，消除雾霾、雨痕、低光等杂质，完成最后的优化实现良好的语义分割。该解码器通过减少卷积操作，仅依赖轻量级 MLP 结构实现高效计算，在降低参数数量的同时保持高精度分割性能，适用于资源受限场景下的实时语义分割任务。

### 2.3.2 MLP-Layer

给定分辨率为  $H \times W \times 3$  的输入图像进行补丁合并操作后，获得分辨率  $H/2^{i+1} \times W/2^{i+1} \times C^i$ ， $i$  是属于集合  $\{1,2,3,4\}$ ，补丁操作是从  $F1 (H/4 \times W/4 \times C_1)$  缩小到  $F2 (H/8 \times W/8 \times C_2)$ ，然后对层次结构中的任何其他特征图进行迭代，用于合并非重叠的图像或特征补丁），设置  $K$ （补丁大小）=7， $S$ （相邻补丁之间的步长）=4， $P$ （填充大小）=3， $K=3$ ， $S=2$ ， $P=1$ ，执行重叠补丁合并，已生成与非重叠过程相同大小的特征。输入至 MLP-Layer 中将属于集合  $\{1,2,3,4\}$  的四层分辨率  $F_i$  进行通道维度统一被特征上采样（Upsample）成同样大小即原来的 1/4，并进行拼接

成  $H/4 \times W/4 \times 4C$ ，接着采用 MLP 层来融合拼接后的特征  $F$ 。最后，外部的 MLP 层将融合的特征输入，预测分割掩码  $M$ ，分辨率为分辨率为  $H/4 \times W/4 \times Ncls$ ， $cls$  是类别数量，达到既能有效保持较大的感受野又能有效捕捉上下文信息，且设计不复杂模型较为简洁。

### 2.3.3 杂质过滤器模块

引入一个杂质过滤器模块，其关键是将图像的杂质条件视为其风格，并缩小分割模型的神经风格空间中不同杂质条件图像之间的差异，特别是由于图像神经网络中的风格通常受其他因素和杂质的影响不断地学习风格中的因素，通过对杂质过滤器模块和分割模型交替优化，逐渐缩小了不同环境下的风格差异。解码器模块输出的数据  $H \times W \times N_c$ ，完成雨痕、雾霾等杂质特征的过滤。首先，本模块完成了复杂天气条件下的图像中提取，并通过嵌入杂质向量因子的形式实现精准量化，以辅助模型学习和表征各种杂质特征。线性层是对输入特征执行了一次线性变化，激活层层在处理负输入时不会完全抑制信号传递。在该模块中，采用 Gram 矩阵对特征通道之间的相关性进行建模，其中矩阵元素  $G_{ij}$  表示第  $i$  通道和第  $j$  通道之间的相关性，计算公式为  $G_{ij} = a_i^T a_j$ 。这种方法提供了丰富的风格信息，有助于捕捉杂质特征的局部和全局相关性。通过 ALL-MLP 模块处理后，该模块生成包含杂质相关信息的嵌入向量，从而为下游任务提供更准确的特征描述。

## 3 结语

这种创新的级联注意力分割模型，通过融合多分支自注意力机制、混合型 Transformer 编码器和轻量级解码器等先进技术，实现了在复杂视觉场景下的高效语义分割。模型不仅能够动态环境中精确捕捉多尺度的图像特征，还通过引入杂质过滤器技术，通过分割模型和杂质过滤器交替优化，显著提升了对不同环境（低光、雨天、雾霾等）条件下的处理能力。未来的研究可以进一步探讨如何结合更加高效的噪声标签处理与自监督学习方法，以实现更加稳健和泛化的分割效果。

### 参考文献

- [1] Xie E, Wang W, Yu Z, et al. SegFormer: Simple and efficient design for semantic segmentation with transformers[J]. Advances in neural information processing systems, 2021, 34: 12077-12090.
- [2] Chen L C, Zhu Y, Papandreou G, et al. Encoder-decoder with atrous separable convolution for semantic image segmentation[C]// Proceedings of the European conference on computer vision (ECCV). 2018: 801-818.
- [3] HE K M, ZHANG X Y, REN S Q, et al. Deep residual learning for image recognition[C]//Proceedings of the 29th IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Las Vegas, Jun 27-30, 2016. Washington: IEEE Computer Society, 2016: 770-778.

# Research on Human Presence Detection System Based on Millimeter Wave Radar and Infrared Imaging

Yuanting Jiang<sup>1</sup> Linlin Yang<sup>2</sup> Zhongfeng Han<sup>1</sup>

1. Hisense Vision Technology Co., Ltd., Qingdao, Shandong, 266100, China

2. Qingdao Branch of Lingong Intelligent Information Technology Co., Ltd., Qingdao, Shandong, 266100, China

## Abstract

With the advancement of smart home technologies, human presence recognition has become a key technology for enhancing user experience. To address the low accuracy and misjudgment issues of single sensors in stationary target detection, this paper proposes a dynamic background update method based on data fusion of millimeter wave radar and infrared temperature sensors. By employing a successive approximation method to update infrared temperature backgrounds in real-time and integrating radar perception data, the system forms a dynamic management framework that effectively resolves recognition challenges under environmental temperature variations, device interference, and continuous human presence. Experimental results demonstrate that this method significantly improves the accuracy of stationary human recognition and system stability.

## Keywords

intelligent perception; personnel recognition; millimeter-wave radar; infrared temperature sensor; data fusion; dynamic background update

# 基于毫米波雷达及红外成像的人体存在动态检测系统研究

姜元亭<sup>1</sup> 杨琳琳<sup>2</sup> 韩忠峰<sup>1</sup>

1. 海信视像科技股份有限公司, 中国·山东 青岛 266100

2. 临工智能信息科技有限公司青岛分公司, 中国·山东 青岛 266100

## 摘要

随着智能家居技术的发展, 人员存在识别成为提升用户体验的关键技术。针对单一传感器在静止目标检测中存在的准确率、易误判等问题, 本文提出了一种基于毫米波雷达与红外温度传感器数据融合的动态背景更新方法。通过逐次逼近法对红外温度背景进行实时更新, 结合雷达感知数据形成动态管理系统, 有效解决了环境温度变化、设备干扰及持续有人状态下的识别难题。实验表明, 该方法显著提高了静止人员识别的准确性和系统稳定性。

## 关键词

智能感知; 人员识别; 毫米波雷达; 红外温度传感器; 数据融合; 动态背景更新

## 1 引言

智能家居作为物联网时代的重要组成部分, 其人机交互能力直接影响用户体验。人员存在识别技术广泛应用于照明控制、空调调节、安防监控等场景 [1]。传统的单一传感器方案在面对复杂家居环境时存在明显局限: 毫米波雷达对静止目标敏感度不足, 而红外温度传感器易受环境因素干扰 [2]。

为解决上述问题, 本文设计了一套多传感器融合的动态识别系统, 重点改进红外温度传感器的背景建模方法, 通过引入毫米波雷达辅助决策, 实现了高精度、低误报的人员存在检测。

## 2 系统架构与工作原理

### 2.1 技术背景

现有红外温度传感器主要采用静态背景对比法进行人员识别 (图 1), 步骤如下 (以 16\*16 像素传感器为例):

1. 当前温度场减去背景温度场
2. 计算各像素点温差均方差 (MSE)
3. 根据预设阈值判定是否存在人员

然而, 该方法面临四个关键问题:

1. 环境温度持续变化导致背景失真
2. 空调、暖气等调温设备产生干扰信号
3. 热水杯、酒柜等冷热源造成虚假报警
4. 长时间有人状态下难以维持有效对比

【作者简介】姜元亭 (1985-), 男, 中国山东济宁人, 硕士, 从事智能感知技术研究。

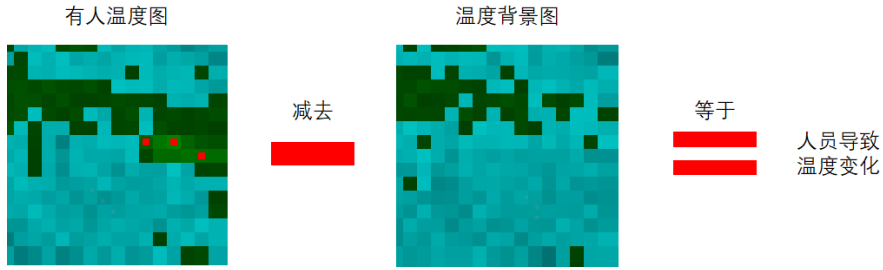


图 1 静态对比法示意图

## 2.2 动态背景更新机制

本系统采用 "雷达主导 - 温度跟随" 的协同策略, 建立动态背景更新模型:

### 2.2.1 单目标处理流程

1. 区域映射: 根据雷达提供的  $(x,y)$  坐标及角度误差, 转换至红外温度坐标系中的水平角度范围  $A$  (图 2)
2. 距离约束: 利用  $y$  轴距离信息计算 2 米范围内的特征边长  $L$  (人体典型高度)
3. 热点筛选: 在 256 个温度点中提取最高 3 个温度点, 若至少 1 点位于  $A$  范围内, 则定位最高温点  $S$
4. 区域划分: 以  $S$  为中心构建  $L \times L$  正方形窗口  $W$ , 仅对  $W$  外区域执行背景更新 (图 3)

具体过程如下:

1 个目标: 根据人员坐标信息 (链表雷达图  $x$  水平、 $y$  平面垂直) 加上雷达角度误差框定水平  $x$  角度范围  $A$ ;

在红外温度传感器生成的 256 像素数据中根据角度范围  $A$  在温度坐标 ( $x$  水平、 $z$  立面垂直) 中映射  $x$  范围;

根据雷达坐标  $y$  数据作为距离信息通过计算得出温度坐标中 2 米 (人体站立及躺卧都在 2 米内) 的边长  $L$  筛选出 256 个温度点中温度最高的 3 个点 (数量根据雷达检测人员数量能力确定), 如果至少有 1 个点在范围内, 则在  $A$  范围内找到温度最高点  $S$ , 如果范围  $A$  内没有温度对应最高温度的 3 个点, 则认为雷达链表中的人员已经不存在, 删除链表中此目标信息。

在  $A$  范围内找到温度最高点  $S$ , 以  $S$  为中心框出边长  $L$  正方形范围  $W$ , 对  $W$  范围外温度进行更新, 范围内本次

不更新;

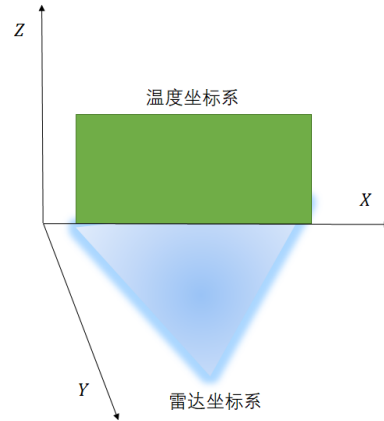


图 2 双坐标系图

### 2.2.2 多目标协同处理

多个目标存在时对每个目标按照单目标方式进行范围  $W$  框定, 其范围可能存在重叠现象, 多目标重叠时,  $W$  范围取其或集 (图 4)。

更新过程总结 - 逐次逼近从周边慢慢更新, 逐步全部更新完成 (图 5)。

### 2.2.3 更新策略优化

逐次逼近更新: 从边缘区域开始逐步向中心推进, 避免瞬时大幅波动

定时强制更新: 应对人员长时间静止或传感器异常情况, 设置周期性全局刷新机制 [3]

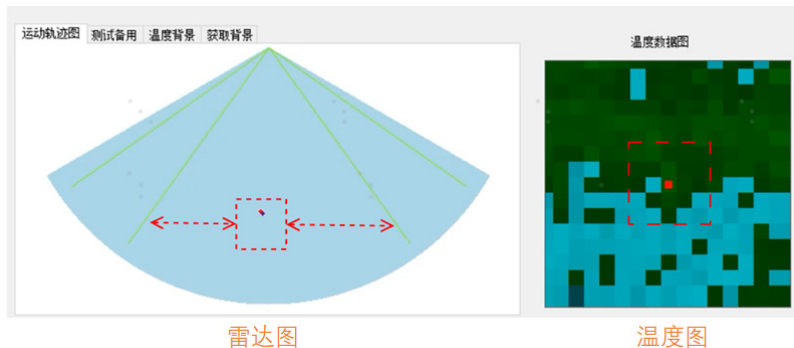


图 3 热点筛选示意图

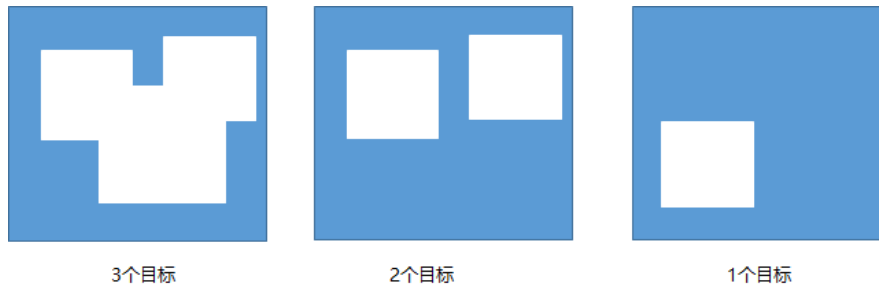


图 4 不同目标下刷新范围示意

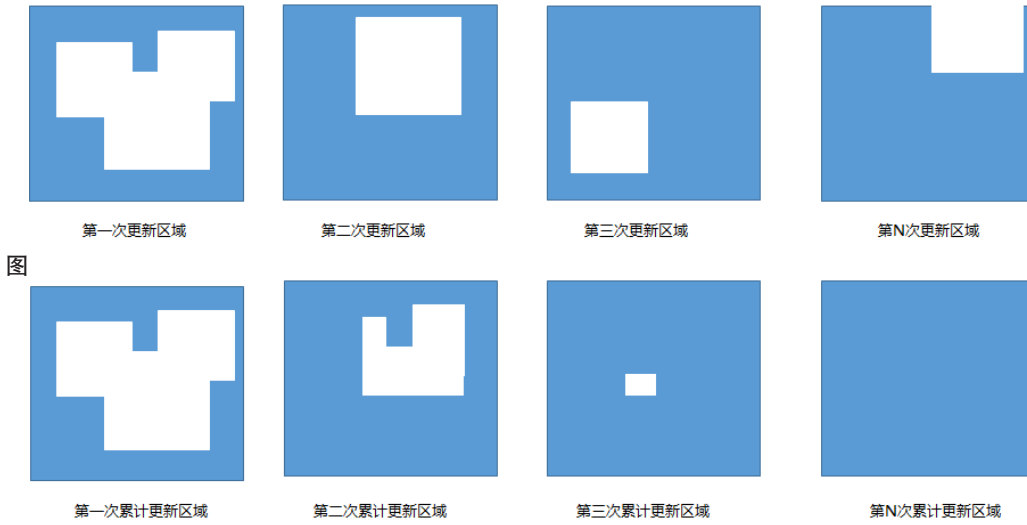


图 5 逐次逼近更新过程图 (蓝色为更新区域)

### 2.3 自适应阈值判定体系

传统固定阈值方法易受距离衰减影响，本文构建三维动态阈值模型：

通过前后时间差的温度背景数值差异进行对比，超过一定阈值时判断为有人存在，常规判断方法为当前 256 像素温度数值取均方差 - 背景 256 像素温度数值均方差 =  $\delta 1$ ，当大于设定阈值时判断有人，小于阈值判断无人；

动态阈值判断方法：

设置阈值三要素：背景均方值差（同静态）、与背景差的差均方值（ $\delta 2$ ）、2 个背景最高温的温差（ $\delta 3$ ）。每一阈值与初始设定阈值进行比较，当（ $\delta 1 \parallel \delta 2$ ）&  $\delta 3$  为真时判断有人，为假时判断无人。

其中阈值 T1、T2 根据目标距离动态调整，提供三种实施方案：1. 查找表法：依据距离查表获得缩放系数；2. 分段函数法：按区间线性插值；3. 连续函数法：多项式拟合曲线

### 3 实验结果与分析

通过搭建原型系统，在典型家居环境中测试发现：

- 静止人员识别准确率由 72% 提升至 96%
- 平均响应延迟降低 40%
- 日常物品干扰误报减少 85%
- 特别是在夜间睡眠监测、老人看护等长时间静止场景中表现优异，验证了动态背景更新的有效性。

### 4 结语

本文提出的融合感知方法有效解决了智能家电中人员存在的精确识别问题，尤其在静止状态检测方面取得突破。未来将进一步研究深度学习辅助的多模态融合算法，拓展至更多生活服务场景。

#### 参考文献

- [1] 王明, 张华. 智能家居中红外温度传感器动态背景更新技术研究[J]. 传感器技术学报, 2025, 38(3): 45-52.
- [2] 刘伟, 等. 基于毫米波雷达的智能家电人员感知系统设计[J]. 电子测量与仪器学报, 2025, 39(1): 112-120.
- [3] 陈立, 等. 多传感器融合的智能家居主动感知技术综述[J]. 自动化仪表, 2025, 46(5): 78-85.

# Analysis of the vehicle speed identification Method Based on Video Images

Xin Liu

Yunnan Gansheng Forensic Appraisal Center, Kunming, Yunnan, 650200, China

## Abstract

As a core element in determining liability for traffic accidents, vehicle speed identification by traditional methods is limited by subjectivity and uncertainty. This paper integrates multi-source video analysis technology with mechanical principles to construct a complete technical system including video preprocessing, reference object calibration, feature point tracking, and multi-scenario speed modeling. By adopting fixed and vehicle-mounted video dual-track calculation paths, combined with theories such as close-range photogrammetry and projective geometric cross-ratio invariance, the speed calculation models for complex scenarios are optimized. Verified by real cases, the method exhibits high precision and strong adaptability under different road conditions and video qualities. Its innovation lies in the organic integration of dynamic weight distribution of feature points and multi-source error correction, providing scientific technical support for judicial authentication of traffic accidents.

## Keywords

Traffic accident; judicial appraisal; vehicle speed appraisal; appraisal method; video analysis

## 基于视频图像对车速的鉴定方法分析

刘鑫

云南乾盛司法鉴定中心, 中国·云南 昆明 650200

## 摘要

车辆速度是交通事故责任认定的核心要素, 传统鉴定方法受主观性与不确定性限制。本文融合多源视频分析技术与力学原理, 构建涵盖视频预处理、参照物标定、特征点跟踪及多场景速度建模的技术体系。通过固定式与车载式视频双轨计算路径, 结合近景摄影测量、射影几何交比不变性等理论, 优化复杂场景速度计算模型。经真实案例验证, 该方法在不同路况与视频质量下均具备高精度与强适应性, 其创新点在于实现特征点动态权重分配与多源误差修正的有机融合, 为交通事故司法鉴定提供科学技术支撑。

## 关键词

交通事故; 司法鉴定; 车辆速度鉴定; 鉴定方法; 视频分析

## 1 引言

车辆速度是交通事故责任认定中的关键因素之一, 传统的车速鉴定方法依赖于现场勘查和目击者证词, 但这些方法往往存在主观性和不确定性。随着视频监控技术的普及, 利用监控视频、车载行车记录仪进行车速鉴定, 成为一种可行且有效的方法。本文通过视频分析技术, 提出一种科学、客观的车速鉴定方法, 并通过实际案例进行验证。

## 2 技术流程

### 2.1 视频资料

视频数据来源包括固定式监控、车载行车记录仪等, 需满足画面连续无丢帧、帧率已知(常见 25fps 或 30fps)、分辨率

不低于  $1280 \times 720$  像素的要求, 特殊编码格式需无损转换。预处理采用高斯滤波去噪、透视变换校正畸变、帧间差分法突出运动轨迹, 翻拍视频需先校准帧率并剔除异常帧<sup>[1]</sup>。

### 2.2 参照物选取与测距原则

参照物需符合稳定性、可测性、显著性要求, 道路环境优先选择路面标线、电线杆等固定设施(激光测距仪或全站仪实测, 精度  $\pm 0.01\text{m}$ ), 车辆自身选取前后轮轴中心点等全程可见的刚性关联特征点。测距时道路参照物多点测量取平均, 车辆自身尺寸通过手册查询或现场实测。非垂直拍摄视角采用射影几何交比不变性原理消除误差(见图 1)。

### 2.3 时间标定逐帧分析法

借助 Kinovea 等专业软件, 通过逐帧步进、帧序号记录实现时间标定。先确认视频帧率, 不稳定视频采用 10 秒滑动窗口法计算平均帧率<sup>[2]</sup>。记录车辆特征点通过参照线的起止帧序号, 非整数帧跨越采用帧间插值法, 丢帧或多帧情

【作者简介】刘鑫(1982-), 男, 中国云南元阳人, 本科, 工程师, 从事司法鉴定研究。

况通过特征点坐标差值分析补全或删除,时间计算误差控制在帧间隔10%以内。

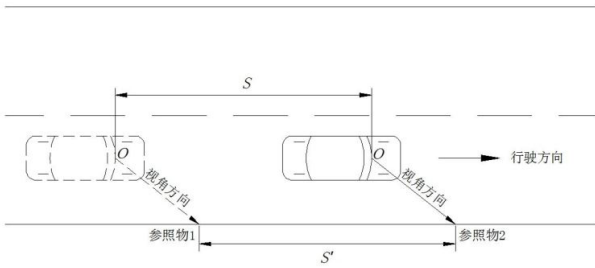


图1 车载式视频图像车速计算参照物与车辆位置示意图

### 3 视频分析技术

#### 3.1 固定式视频图像两轴汽车行驶速度计算方法及目标车辆行驶速度的计算步骤

- 逐帧检测视频图像,观测视频图像的帧率  $f$ , 计算相邻两帧图像之间的间隔时间  $t = 1/f$ 。
- 选取或设定某一参照物。
- 记录目标车辆左前轮至左后轮通过该参照物时所用图像帧数  $n = (n_1, n_2)$ , 其中  $n_1 < n_2$ 。并记录时间  $T = t \times n$ 。
- 确定目标车辆的轴距  $L$  和轮距  $B$ 。
- 测量目标车辆左前轮胎与地面接触点移动的距离  $S_1$ , 左后轮胎与地面接触点移动的距离  $S_2$ 。
- 测量目标车辆质心距左后轮轮心沿车身纵轴方向的距离  $P$  和垂直于车身纵轴方向的距离  $Q$ 。
- 计算目标车辆的行驶速度:

$$v = \omega \times R = \frac{\sqrt{S_1^2 - S_2^2}}{L \times n} \times f \times \sqrt{\left(\frac{S_2 \times L}{\sqrt{S_1^2 - S_2^2}} + Q\right)^2 + P^2}$$

- 在实际应用中,可通过计算左后轮的行驶速度给出目标车辆行驶速度的下限值:

$$v_{\min} = \frac{S_2}{n_2} \times f$$

#### 3.2 车载式视频图像的车辆行驶速度计算

##### 3.2.1 计算步骤

- 逐帧检测视频图像,观测视频图像的帧率  $f$ , 计算相邻两帧图像之间的间隔时间  $t = 1/f$ 。
- 选取两个道路环境参照物作为参照物1和参照物2。
- 选取视频图像的某一视角方向,确定该视角与车身的交点  $O$  并作为虚拟参照物。
- 记录交点  $O$  沿视角方向通过两个道路环境参照物之间的图像帧数  $n = (n_1, n_2)$ , 其中  $n_1 < n_2$ 。
- 测量参照距离  $S'$ 。
- 用公式(1)或公式(2)计算目标车辆的视频图像同一视野位置通过两个参照物时的行驶速度。

##### 3.2.2 目标车辆沿直线路行驶的速度计算步骤

- 逐帧检测视频图像,观测视频图像的帧率  $f$ , 计算相邻两帧图像之间的间隔时间  $t = 1/f$ 。
- 沿车辆行驶方向向右前方选取视角方向1,确定该视角方向与车身的交点  $O$  并作为虚拟参照点<sup>[3]</sup>。
- 选取两个道路环境参照物作为参照物1和参照物2。
- 记录交点  $O$  沿视角方向1通过参照物1和参照物2的图像帧数  $n = (n_1, n_2)$ , 其中  $n_1 < n_2$ 。
- 测量两个道路环境参照物之间的距离  $S'$ 。
- 测量交点  $O$  在路面垂直投影点  $O'$  的移动距离  $s$ 。
- 测量投影点  $O'$  运动轨迹与两个道路环境参照物间的垂直距离  $\Delta R$ 。
- 确定目标车辆质心的角速度  $\omega$  和车身交点  $O$  的转弯半径  $R_1$ :

$$\omega = \frac{s - S'}{\Delta R \times T} = \frac{s - S'}{\Delta R \times n} \times f$$

$$R_1 = \frac{s \times \Delta R}{s - S'}$$

- 测量目标车辆质心距车身交点  $O$  沿车身纵轴方向的距离  $U$  和垂直于车身纵轴方向的距离  $W$ 。
- 目标车辆质心的转弯半径:

$$R = R_1 + W = \frac{s \times \Delta R}{s - S'} + W$$

- 目标车辆的车载监控录像同一视野位置通过两个道路环境参照物时的行驶速度:

$$v = \omega \times R = \frac{s - S'}{\Delta R \times n} \times f \times \left(\frac{s \times \Delta R}{s - S'} + W\right)$$

目标车辆沿曲线路行驶时,可以根据实际情况给出目标车辆行驶速度的上限值或下限值。

#### 3.3 目标车辆沿曲线行驶的速度

曲线行驶速度计算需基于车辆刚体运动特性,单刚体车辆直接采用质心速度建模,多刚体车辆以牵引车或第一节车体的行驶速度作为整车速度基准,多轴汽车需先等效为两轴汽车,通过轴距等效换算后再进行速度计算<sup>[4]</sup>。

##### 3.3.1 沿较小转弯半径的行驶速度计算

目标车辆转弯时,车身不同部位特征点的运动轨迹为同心圆弧,半径存在差异。当摄像设备处于目标车辆内侧时,内侧特征点运动半径小于后轴中心点,其速度低于后轴中心点速度。当摄像设备处于外侧时,外侧特征点运动半径大于后轴中心点,速度高于后轴中心点速度。

计算时需选取后轴中心点作为核心特征点,该点运动轨迹最接近车辆实际行驶路径。通过视频帧提取后轴中心点连续坐标,采用圆弧拟合算法确定转弯半径  $R$ , 结合时间序列计算角速度  $\omega$ , 代入公式  $V = R \times \omega$  求解速度。对于特征点难以识别的情况,采用车轮轮廓几何中心替代,

通过轮廓边缘点坐标拟合中心位置，确保每帧中心坐标计算误差不超过 5 像素。

### 3.3.2 沿较大转弯半径的行驶速度计算

当车辆转弯半径较大时，车身横向速度分量占比减小，可通过修正系数简化计算：

a) 对于车宽  $\leq 1.8\text{m}$  的车辆，当转弯半径  $RC \geq 40\text{m}$  时，修正系数  $\mu$  取值范围为 0.978~1.023，此时横向速度分量对总速度的影响小于 2%，可忽略修正直接采用直线行驶速度计算模型。

b) 对于  $1.8\text{m} \leq$  车宽  $\leq 2.5\text{m}$  的车辆，当转弯半径  $RC \geq 50\text{m}$  时，修正系数  $\mu$  取值范围为 0.975~1.019，同样可省略修正步骤。修正系数  $\mu$  通过大量实车试验数据拟合得到，涵盖不同车型、车速与转弯半径组合场景，确保简化计算的可靠性。

### 3.4 计算方法优化

采用 Kinovea 运动跟踪软件进行视频解析，该软件支持特征点手动标注与自动跟踪，可导出跟踪点的 X、Y 坐标与时间序列数据。操作时先选取视频中匀速运动的参照物体（如道路标线、固定建筑物），对其特征点进行逐帧跟踪，通过相邻帧坐标差值分析，识别缺失帧或多帧位置；若某组差值为其他差值的 n 倍，则判定该位置缺失 n-1 帧，采用线性插值法补全坐标数据，确保轨迹连续性<sup>[5]</sup>。

车辆轨迹提取需遵循特征点优选原则：优先选择车牌照边缘点与地面投影点，此类特征点在不同光照条件下均具有较高稳定性，车牌照边缘点平均误差可控制在 1.5% 以内，地面投影点误差不超过 1.8%。车身边缘点与后视镜点可作为辅助特征点，用于交叉验证。以云 GW8777 号小型普通客车为例，选定左前后轮轴中心点作为核心跟踪点，该点与车辆运动刚性关联，跟踪过程中通过帧间匹配算法确保点迹连续，最终获取完整运动轨迹数据（见图 2、3、4）。



图 2 运动跟踪开始示意图



图 3 运动跟踪结束示意图



图 4 运动动轨示意图

基于速度公式  $V = \frac{S}{T}$ ，结合实测轴距  $S=2.78\text{m}$  与跟踪获取的时间数据，计算车辆通过视频路段的瞬时速度。为提高精度，采用多特征点融合模型，根据各特征点的有效跟踪帧数分配权重，跟踪帧数越长权重越大，通过加权平均计算

$$\text{最终速度: } V_{avg} = \frac{\sum_{i=1}^n w_i V_i}{\sum_{i=1}^n w_i}$$

其中  $w_i$  为第  $i$  个特征点的权重， $V_i$  为该特征点计算的速度值，该模型可有效降低单一特征点误差对结果的影响。

### 3.5 数据处理与标准依据

运用跟踪软件导出的 X、Y 坐标数据，构建 Excel 电子表格进行量化分析，严格遵循 GA/T 1133-2014《基于视频图像的车辆行驶速度技术鉴定》与 DB53/T 806-2016《基于视频图像的道路交通事故分析方法》5.1.1 条规定，采用分段算法获取每帧速度值：将视频序列按 10 帧为一段划分，计算每段平均速度，再通过滑动平均法平滑数据，消除瞬时波动干扰<sup>[6]</sup>。

数据处理过程中需进行多重校验：通过车辆动力学模型验证速度合理性，确保计算结果在车辆物理性能允许范围内。对比不同参照物计算的速度值，偏差超过 3% 时需重新检查参照物选取与测距过程。结合现场勘查数据，如制动痕迹长度、碰撞变形量等，进行交叉印证，形成完整证据链（见表 1）。

表 1 云 GW8777 号小型普通客车运动特征点跟踪数据统计表

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Track		Track						
2	Label : 前轮40秒10帧至		Label : 后轮40秒10帧至						
3	Coords (x,y:pxp, t:time)		Coords (x,y:pxp, t:time)						
4	x	y	t	x	y	t	时间	时标	速度
5	2832.93	617.15	5:05:22:18	2833.85	522.16	5:05:22:18	40.4	40.52	39.356888
6	2823.93	631.24	5:05:22:22	2874.85	539.16	5:05:22:22	40.44	40.56	39.357381
7	2817.18	645.95	5:05:22:26	2863.85	557.16	5:05:22:26	40.48	40.6	39.328469
8	2811.34	657.11	5:05:22:30	2856.85	573.16	5:05:22:30	40.52	40.64	39.340159
9	2804.34	670.11	5:05:22:34	2848.85	590.16	5:05:22:34	40.56	40.68	39.376304
10	2797.59	683.86	5:05:22:38	2840.85	602.39	5:05:22:38	40.6	40.72	39.333831
11	2794.93	694.63	5:05:22:42	2833.85	616.39	5:05:22:42	40.64	40.76	39.370354
12	2787.94	704.03	5:05:22:46	2826.85	630.39	5:05:22:46	40.68	40.8	39.237209
13	2785.36	715.49	5:05:22:50	2819.85	644.39	5:05:22:50	40.72	40.84	39.331477
14	2779.19	725.44	5:05:22:54	2812.85	658.39	5:05:22:54	40.76	40.88	39.339054
15	2773.19	734.74	5:05:22:58	2806.85	669.39	5:05:22:58	40.8	40.92	39.323768
16	2766.19	746.63	5:05:22:62	2800.52	682.91	5:05:22:62	40.84	40.96	39.324694
17	2763.36	755.53	5:05:22:66	2794.52	693.91	5:05:22:66	40.88	41.39	39.345666
18	2758.36	763.44	5:05:22:70	2790.27	702.83	5:05:22:70	40.92	41.04	39.325072
19	2752.36	770.34	5:05:22:74	2784.85	714.67	5:05:22:74	40.96	41.08	39.358816
20	2749.62	778.32	5:05:22:78	2784.84	724.67	5:05:22:78	41	41.12	39.375
21	2744.62	786.32	5:05:22:82	2773.84	733.67	5:05:22:82	41.04	41.16	39.375
22	2745.04	794.22	5:05:22:86	2768.93	745.84	5:05:22:86	41.08	41.2	39.39512
23	2741.03	801.42	5:05:22:90	2763.93	754.84	5:05:22:90	41.12	41.24	39.360614
24	2736.03	810.22	5:05:22:94	2758.93	762.84	5:05:22:94	41.16	41.28	39.3015
25	2731.03	816.22	5:05:22:98	2756.1	769.83	5:05:22:98	41.2	41.32	39.310345
26	2728.02	823.12	5:05:23:02	2752.1	777.68	5:05:23:02	41.24	41.36	39.321106
27	2723.02	829.12	5:05:23:06	2747.1	785.68	5:05:23:06	41.28	41.4	39.321106
28	2723.45	835.18	5:05:23:10	2742.1	793.68	5:05:23:10	41.32	41.44	39.257681
29	2719.45	841.48	5:05:23:14	2739.1	800.68	5:05:23:14	41.36	41.48	39.183655
30	2716.45	849.48	5:05:23:18	2733.36	809.68	5:05:23:18	41.4	41.52	39.031192
31	2716.87	855.31	5:05:23:22	2731.44	815.59	5:05:23:22	41.44	41.56	39.062808
32	2712.87	860.52	5:05:23:26	2728.44	822.59	5:05:23:26	41.48	41.6	38.988744
33	2708.88	866.03	5:05:23:30	2726.44	828.59	5:05:23:30	41.52	41.64	38.968482

### 3.6 时间—速度曲线构建

基于匀变速直线运动中平均速度等于中间时刻瞬时速度的原理，选取视频序列中的关键时段，计算每个时间节点的瞬时速度值。以云 GW8777 号小型普通客车为例，选取 40.4s 至 41.6s 时段，每隔 0.04s 提取一组速度数据，建立时间 - 速度坐标系，采用多项式拟合算法绘制曲线，该曲线可直观反映车辆加速、匀速、制动等运动状态变化。

曲线分析需关注特征节点：速度峰值点对应车辆最大行驶速度，斜率变化点对应加速或制动起始时刻，曲线平缓段对应匀速行驶状态。通过曲线积分可计算车辆在特定时段内的行驶距离，与视频中参照物间距进行比对，进一步验证速度计算的准确性（见图 5）。

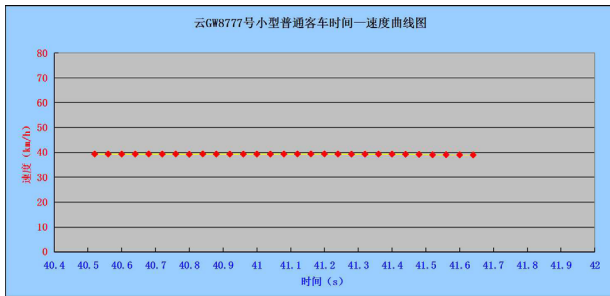


图 5 云 GW8777 号小型普通客车时间 - 速度曲线图

## 4 案例分析

### 4.1 案例背景

城市主干道追尾事故中，前方云 G87W17 号轿车被后方云 GW8777 号 SUV 追尾，事故路段限速 60km/h，固定式监控与 SUV 车载记录仪完整记录全过程，需鉴定 SUV 制动前行驶速度。

### 4.2 视频分析过程

对固定式视频进行去噪、畸变校正，车载视频采用图像稳定算法处理抖动。采用双特征点跟踪策略，通过 Kinovea 软件逐帧跟踪并补全 3 帧缺失数据（有效帧率 25fps）。识别制动起始与终止帧，结合道路标线计算制动距离 8.9m（误差 < 0.3m）。

### 4.3 力学计算

通过 SUV 车辆技术手册获取关键参数：制动力系数

$\varphi = 0.65$ ，滚动阻力系数  $f = 0.011$ ，车辆质量  $m = 1607\text{kg}$ 。结合制动距离  $s$ ，采用制动速度公式计算制动前速度：

$v = \sqrt{2gs(\varphi + f)}$  其中  $g$  为重力加速度  $9.8\text{m/s}^2$ ，代入数据计算得  $v = 38.3\text{km/h}$ 。

同时采用视频分析方法进行速度解算：基于固定式视频，通过轴距 2.78m 与跟踪帧数计算得速度 38.9km/h。基于车载视频，运用射影几何交比不变性原理修正视角误差，计算得速度 39.6km/h。三种方法计算结果偏差均小于 1%，验证了数据可靠性。

### 4.4 结果分析

综合视频分析与力学计算结果，确定 SUV 制动前行驶速度为 38.9km/h，该速度低于路段限速 60km/h，但结合制动距离与碰撞程度分析，车辆未保持安全车距是事故主要原因。该鉴定结果与现场勘查的制动痕迹长度、车辆碰撞变形量等数据高度吻合，同时得到双方当事人认可，为事故责任认定提供了坚实的技术支撑。

## 5 结论

本文整合力学原理与视频分析技术，以运动跟踪软件为核心，通过特征点动态跟踪与多源误差修正，构建了科学客观的车速鉴定方法。经案例验证，该方法准确性、实用性与可靠性突出，可为交通事故责任认定提供坚实技术支撑。未来可进一步优化算法，提升鉴定精度与效率。

### 参考文献

- [1] 董浩存,聂中国.基于车载式视频图像的车辆行驶速度鉴定[J].汽车实用技术,2021,46(07):195-198.
- [2] 李浩宇.事故车辆基于视频图像计算车速特征点选取的浅析[J].汽车维修与保养,2025,(08):75-76.
- [3] 周海,尹向东,田召阳.利用视频图像计算车辆速度[J].黑龙江交通科技,2024,47(06):151-154+160.
- [4] 张劲斌,张志华.基于近景摄影测量的单镜头视频车辆速度检测方法[J].测绘通报,2024,(03):19-24.
- [5] 黄磊,王迪,何仲华,等.道路交通事故司法鉴定中翻拍视频图像车速计算方法的研究[J].交通科技与管理,2023,4(14):20-23.
- [6] 杜辉,毕嗣东,毕彦硕,等.基于视频图像鉴定车速中的参照物选定两例[J].刑事技术,2023,48(06):640-644.

# Application Practice Research on Intelligent Scheduling of Autonomous Vehicles in Raw Material Warehouses of Steel Mills

Haipeng Li

Zhenshi Holding Group Co., Ltd., Jiaxing, Zhejiang, 314500, China

## Abstract

As the primary link in steel production, the raw material yard for steelmaking is crucial to the efficiency and quality of the entire production chain. This project involves the storage of smelting raw materials such as nickel iron, chromium iron, lime, fluxes, and alloys, with 80% sourced from shipping and unloaded at the company's own wharf, and 20% from road transport by truck, serving as a supplement to the shipping materials. Facing the challenges of a competitive market environment, the transformation driven by innovation aims not only to improve the efficiency of raw material processing, reduce costs, and optimize the working environment but also to enhance the company's market competitiveness. The development of unmanned, intelligent material yards represents the trend and future direction of digital and intelligent transformation in the industrial sector. This project combines an intelligent driving system with intelligent warehouse management scheduling, adopting advanced technologies such as big data, artificial intelligence, image recognition, and digital twins to address technical bottlenecks including intelligent process scheduling, raw material tracking, automatic inventorying of material warehouses, unmanned stacking and reclaiming, and intelligent equipment supervision. It aims to build an integrated solution for intelligent material yards centered around the full-process management scenarios of smart material yards.

## Keywords

Unmanned driving; IGV; Fleet management; Intelligent guidance; Remote driving; Smart inventorying

# 炼钢厂原料库无人驾驶智能调度应用实践研究

李海鹏

振石控股集团有限公司, 中国·浙江 嘉兴 314500

## 摘要

炼钢原料场作为钢铁生产的首要环节,关系到整个生产链的效率和质量。本项目研究涉及到存储炼钢的镍铁、铬铁、石灰、熔剂、合金等冶炼原料,其中80%来源于船运,在自有码头进行物料装卸,20%来源于陆路汽车运输,作为船运原料的补充。在面临市场竞争环境挑战的当下,通过创新驱动的智能化转变,不仅要提高原料处理的效率,降低成本,还要优化工作环境,增强企业的市场竞争力。无人化作业智慧料场的发展,代表了工业领域数字化、智能化转型的趋势和未来方向。本项目研究的智驾系统与智能库管调度相结合,将采用大数据、人工智能、图像识别、数字孪生等先进技术,解决流程智慧调度、原料物料跟踪、料仓自动盘库、堆取料无人化、设备智能监管等技术瓶颈,围绕智慧料场全流程管控场景构建智能料场的一体化解决方案。

## 关键词

无人驾驶; IGV; 车队管理; 智能导引; 远程驾驶; 智能盘库

## 1 引言

本项目实践研究范围包括炼钢原料区域(库区及码头),分为码头区、IGV自动管理存储区、石灰钢板筒仓区、汽车运输存储区、上料设备等区域,冶炼的主原料镍铁和铬铁通过链板机给合金熔化炉上料,其他熔剂、合金、石灰通过皮带上料输送系统给炼钢的料仓上料。主要实现对码头区、IGV自动管理存储区进行IGV无人化运输及库存管理,对

汽车运输存储区进行汽车入库调度及库存管理,与石灰钢板筒仓及上料设备系统做联动,相关系统通过通信接口进行信息交互。

## 2 料场管理子系统

料场管理包括码头管理、实现自动盘库、料场料格管理、IGV调度管理、停车场管理、入储管理、配料出库管理、库存管理、数字孪生料场、接口管理等内容。核心内容如下:

(1) 码头管理: 码头的信息、码头所属装卸机械设备,码头的作业调度,码头船舶停泊信息等。

(2) 自动盘库: 通过激光雷达,其安装在轨道机器人上,

【作者简介】李海鹏(1978-),男,中国河北张家口人,本科,高级工程师,从事信息技术研究。

实现扫描料堆三维形态，自动按照料仓调度系统计算料堆体积，以实现智能库管调度与无人驾驶车辆指令的下达。

(3) 料场料格管理：料格的库存状态、物料、设备关联情况，可视化及异常管理。

(4) IGV 调度管理：3D 自动化料场管控集成了自动化、信息化、智能化功能的综合管控一体化平台。统一调度无人驾驶 IGV 车和有人驾驶装载机作业。实现安全驾驶作业的交叉作业。

(5) 停车场管理：实现进出厂作业的有人驾驶车辆的作业管理，车牌识别系统采用高清摄像头与智能识别算法相结合的技术。系统内置车牌数据库比对功能，可实时与 WMS 系统进行数据交互，自动记录车辆进出时间并生成报表。

(6) 入储管理：按货运方式的不同分类管理进行管理并入库，计量数据由计量系统对接自动生成，生成入库单，最后更新料格实际库存。

(7) 配料出库管理：根据炼钢上料作业需求，通过智能库管调度系统，对无人车及有人装载车辆下达炼钢上料计划，由智能系统安排无人车到指定料格等待装料，由有人装载机按照作业计划指令（车载平板指示）执行装车作业，最后完成装车后，运输到计量地磅，称重后记录出库，同步扣减原料库对应料格中库存数据。

(8) 库存管理：基于期初库存、当期入库、出库，实时计算各料格当前库存数据，可多维度查询与库存预警。结合业务需求生成查询分析报表。

(9) 接口管理：无人车智能库需要与公司物流系统、MOM 系统、无人计量系统、道闸、运输线等系统交互。

(10) 数字孪生料场：建立设备数据采集与可视化平台，能够将现场各类设备的运行状态、作业参数和健康指标实时映射到三维数字模型中。通过与设备控制系统、传感器网络的深度集成，系统能够自动采集关键设备的运行数据，包括 IGV 车辆位置、作业进度、电池电量、故障报警等信息。所有数据经过统一处理后，以直观的图形、色彩和动画形式在三维模型中动态展示，便于管理人员快速掌握全局运行状况。通过设备状态的可视化，数字孪生系统提升料场的透明度和管理响应速度。

## 3 智能驾驶子系统

### 3.1 IGV 自动引导系统

IGV 自动引导系统是由 IGV 车、IGV 管理监控系统、智能充电系统等组成，系统的目的就是使 IGV 系统运行安全、可靠，并协调各辆 IGV 协同工作，提高 IGV 系统整体的工作效率，以确保 IGV 完成输送任务的同时还要考虑以后系统扩展的方便快捷，IGV 系统需重点关注：

#### 3.1.1 IGV 系统必须安全可靠

IGV 系统的安全可靠运行对于整个物流系统至关重要，对 IGV 系统的安全问题的考虑，要对人、机、物及相关条件统一考虑。

#### 3.1.2 IGV 系统必须易于扩展

随着工厂自动化的日益发展，原有自动化系统的可扩展性及灵活性十分重要，IGV 管理监控系统可管理多台 IGV 车，并具备扩展 IGV 车数量的功能。当需扩展 IGV 车数量时，IGV 管理系统配置即可具备扩充车辆的能力。

#### 3.1.3 充电方式与充电站的设置原则

在一般情况下，IGV 的电池电量在低于 20% 去充电站充电，IGV 管理系统也可以调度 IGV 车进行充电，当充电完毕或有任务时就可以投入运行，在最大程度上提高运输效率。IGV 充电完全由 IGV 管理监控主机和地面智能充电站监控。

#### 3.1.4 合理进行 IGV 自动导引车辆系统路线的布局规划

由于各台 IGV 工作于相同的物流路线上，因此不可避免地存在着路线争用和任务冲突等矛盾，所以要实现合理进行 IGV 系统物流路线的布局。

#### 3.1.5 IGV 自动导引车辆系统的路径规划

IGV 输送系统的路径规划是根据生产设备布置图和工艺流程，安排最佳的 IGV 输送路线，以达到输送路径最短、简洁流畅的目的，并尽量地避免多台车之间的干涉，以提高系统的运行效率，降低企业的运营成本。

## 3.2 无人驾驶系统核心功能

- 1) 自主导航与定位功能
- 2) 智能避障与超车功能
- 3) 精准停靠与装卸货功能
- 4) 车队管理和运维功能
- 5) 数据统计与分析功能
- 6) 远程控制与故障预警功能
- 7) 水平运输地图定位功能
- 8) 水平运输交互功能
- 9) 水平运输安全功能
- 10) 具备避让行人、车辆、障碍物等能力
- 11) 动态规划作业车辆的行车路径

12) 不需要额外建设围栏或立柱用于车辆辅助定位。具有自诊断系统，能够自主诊断雷达、相机、组合导航等传感器工作出现异常，能够自主诊断各类运行数据，出现异常时能够将诊断信息上传到车管调度系统。

## 4 其他行车及人工装卸车辆终端管理

### 4.1 各相关车（龙门吊、叉车、装载车、抓钢机）

配置 12 寸信息终端（工业级驾驶室信息终端），用于显示调度任务，调度配方信息，信息终端含喇叭，可以对调度信息声音播报；当使用港机及抓机进行 IGV 装料完成时，通过车载信息终端，确认装车完成，IGV 收到信息后，进入转运流程。区域内相关行车已配置显示屏。

### 4.2 手持终端

汽车运输入库物料提供管理系统信息录入接口、库存

盘库、与 IGV 交互,库存料格状态管理,各车辆任务管理等内容,需配置手持终端 20 台(供人员现场移动管理使用,暂定 8 寸,具体选型以公司统一确认),设备性能满足生产环境需要。

#### 4.3 有人车辆导引、及导引显示系统

对公路运输熔剂及合金、废钢的车辆进行有序管理,通过车牌识别系统,获知已到车辆的信息,进而通过车牌,获取车辆上废钢的品种及登记重量,进而通过料场管理系统,调度车辆到相应区域卸货。

入库门附近墙面上按需配置 LED 显示屏,用于显示料场管理系统的车辆叫号入库车辆的调度信息,指导车辆运输。

#### 4.4 车牌识别及道闸系统

停车场的出入口、各厂房出入口、炼钢废钢区各设置一车牌识别及道闸系统。

#### 4.5 自动卷帘门

1、2 号码出入口共 2 套,自动卷帘门改造为可远程电控,实现车辆进出自动打开关闭。

### 5 无人车辆及智能调度管控设计

#### 5.1 车辆控制要求

车管调度系统是所有无人车的调度系统,无人车须能自动迅速响应车管调度系统的指令,能及时给车管调度系统发送无人车的运行状态、位置、指令执行情况、故障等信息。无人车具有无人驾驶模式、测试模式、充电模式、维保模式等模式,能按照车管调度系统的指令在以上模式之间任意切换。

#### 5.2 无人驾驶模式

1) 无人车需要具备无人驾驶模式。

2) 无人驾驶模式适用于以下区域:装货区域、自动规划的无人驾驶路径、卸货区域、无人车的充电区等。

3) 无人驾驶模式下,无人驾驶系统的通信模块保证与车管调度系统的服务器的通信连接,无人车按照车管调度系统的指令执行作业任务。

#### 5.3 车管调度系统

1) 车管调度系统需具备车辆状态监控、无人车的行驶状态监控、无人车驾驶模式监控、无人车历史作业回放、车载摄像头记录到的车辆故障事件回放、故障告警管理等功能,实现无人车全生命周期管理。

2) 车管调度系统应具有运营数据统计分析的功能,包括作业详情统计、行驶指标统计、车辆充电统计、故障统计等。

3) 车管调度系统应具有车辆数据存储和管理的功能,包括无人车运行数据存储和归档,无人车车辆数据的接入、存储以及接入数据的查询。

#### 5.4 其他网络环境及安全

1) 本项目无线网包含 5G、工业 Wifi,两套无线通讯互

为备用。作业区域无线网全覆盖,3D 扫描系统、料场视频监控接入、视频信息接入计调管控中心大屏,网络安全有硬件管理与系统有效隔离。

2) IGV 物流输送系统主要由 IGV 单车、IGV 管理系统、IGV 充电系统(充电桩,充电逻辑、充电位判断,有人车占用充电位但不充电的情况等管理)、地面系统组成。IGV 管理监控计算机通过工业以太网网络与上位系统进行通信。IGV 管理监控计算机与 IGV 车通过无线局域网 WLAN 进行通讯。

#### 5.5 高精度定位

1) 卫星定位系统以北斗导航定位系统为主,其他卫星导航为辅助,并结合惯性导航系统进行定位。

2) 无人车上安装高精度定位终端,实现厘米级的高精度定位。通过多种定位手段与多种传感器数据融合,实现无人车精准定位。主要包含环境定位、车辆自定位、辅助定位。环境定位主要基于库区内高精度地图,车辆自定位主要包含卫星导航定位系统、惯性导航定位系统、地图匹配定位系统;辅助定位系统采用标志物定位等定位方式。

3) 所使用定位技术,需要解决北斗卫星和基站信号产生遮挡造成的无定位信号或定位不准确问题。应采用其他定位模块融合北斗差分信息以及场景特征进行动态建图和定位,并具有较强的冗余性。基于激光雷达的几何特征和视觉车道线检测结果等,利用场景特征与高精度地图进行匹配,从而实时计算出精确的全局定位结果。

### 6 结语

综上所述,无人化智能驾驶 IGV 车辆(简称 IGV)具备自主导航行驶、远程遥控操作、应急手动遥控三种工作模式,具备自动前进和后退,导航寻迹,定点停车,避障减速和停车,碰撞停车,均匀加速和减速,自动转向,下坡缓行等工作能力,配备急停开关,声光提示报警灯等多项安全配置。可通过配备可靠无线通信模块,实现无人车系统远程对设备的操控,位置跟踪,视频监控等功能。同时集成到料场管理、码头管理,实现无人化智能库管调度。

#### 参考文献

- [1] 蒲志刚.基于物联网技术的智能仓库管理系统.2021年.
- [2] 中科蓝天科技发展有限公司.智能仓储出入库管理平台,2024年.
- [3] 江仲.应用于智能物流的仓储管理系统.2025年.
- [4] 陈慧岩,无人驾驶汽车环境感知技术综述,2018年.
- [5] 史雨焯.无人驾驶车辆路径规划与跟踪控制算法研究,2023年.
- [6] 高健博.无人驾驶汽车运动规划方法研究综述,2018年.
- [7] 曲业明.露天矿无人驾驶自卸卡车发展综述,2021年.
- [8] 骆雁.智慧交通下的共享无人驾驶汽车研究,2012年.
- [9] 程浩.智能化电商仓储系统的设计与实现,2025年.
- [10] 江苏道达智能科技有限公司.移动式上下料载台自动化搬送管理方法和系统2025年.

# Fault Diagnosis and Maintenance of Medical Equipment Computer Integrated Systems

Pingzhen Zheng

Fourth People's Hospital of Hengshui City, Hebei Province, Hengshui, Hebei, 053000, China

## Abstract

With the increasing number of medical devices in use, the safety and stability of equipment operation have become increasingly important. To address the security risks in medical device computer integrated systems, appropriate fault diagnosis techniques must be employed for assessment. This paper first introduces the types of faults in medical device computer integrated systems, followed by a professional study on systematic fault diagnosis. The process includes defining fault diagnosis techniques, information collection, module-by-module verification, repair, and validation. It then proposes four effective measures to optimize the maintenance of medical device computer integrated systems and outlines future development directions, aiming to enhance the operational efficiency of these systems and provide high-quality services to relevant patients.

## Keywords

fault diagnosis; computer integrated system; module detection and verification; medical equipment

## 医疗设备计算机集成系统的故障诊断与维护

郑平真

河北省衡水市第四人民医院, 中国·河北 衡水 053000

## 摘要

随着医疗设备应用数量的增多, 设备操作的安全性与稳定性正变得愈加重要, 为解决医疗设备计算机集成系统中的安全隐患, 需通过合适的故障诊断技术进行诊断判断。本文先介绍医疗设备计算机集成系统的故障类型, 再通过专业研究, 合理开展系统故障诊断, 其过程包含明确故障诊断技术、信息采集、分模块验证、维修和验证等, 然后提出四项优化维护医疗设备计算机集成系统的有效措施与未来发展方向, 提升计算机集成系统运行效率, 为相关患者提供优质服务。

## 关键词

故障诊断; 计算机集成系统; 模块检测验证; 医疗设备

## 1 引言

当前医院智能化和信息化诊疗核心多为医疗设备计算机集成系统, 该系统运行稳定性直接影响诊疗效率和患者安全。在实际操作中, 受人为不良操作、环境干扰、系统高复杂度影响极易使医疗设备计算机集成系统出现大量故障, 降低诊疗效率。本文全面探究医疗设备计算机集成系统故障诊断和维护实践, 通过具体案例分析故障诊断过程, 提升故障诊断准确性, 满足集成系统高质量运行需求。

## 2 医疗设备计算机集成系统的故障类型

当前医疗设备计算机集成系统的常见故障包含“人为操作故障”“网络安全故障”“电路故障”“软硬件故障”“机械故障”等。(1)人为操作故障。引发该故障的原因为误

操作或操作不熟练, 使系统出现运行异常问题。(2)网络安全故障。受病毒攻击影响, 使网络系统产生数据泄露、系统瘫痪等问题。(3)电路故障。元器件老化或电源问题极易引发电路故障。(4)软硬件故障。医疗设备计算机集成系统中的硬件损坏或软件死机易带来软硬件故障, 降低设备运行的安全性。(5)机械故障。引发该故障的原因为转动部件卡死、连接件松动, 给集成系统正常使用带来较大阻碍。在明确医疗设备计算机集成系统各类故障与产生的危害后, 需合理引入先进故障诊断技术, 及时诊断监测相关故障, 提出合适维修方案并加以调整。

## 3 医疗设备计算机集成系统故障诊断实践

### 3.1 明确故障诊断技术

在开展医疗设备计算机集成系统故障诊断前, 需合理挑选诊断技术, 再根据集成系统中的故障类型选择相应技术, 提升故障诊断准确性与效率。比如, 当前故障诊断技术包含“组件替换法”“故障分割法”“状态分析法”等, 要

【作者简介】郑平真(1985-), 女, 中国河北衡水人, 本科, 助理工程师, 从事计算机集成与医疗设备研究。

合理分析上述方法的操作过程与优势,再将其运用到心率值异常监测故障诊断中。(1)组件替换法。使用该方法时,要合理替换相同型号的设备部件,根据不同部件的使用状态,合理判定故障部件与故障位置,再进行精准处理。(2)故障分割法。将该方法运用到医疗设备计算机集成系统故障诊断中,可将相关系统划分成不同功能模块,单独检测各个模块,依照相关模块呈现出的具体状态确认故障位置。比如,在检测生化分析仪故障时,将该仪器内部划分成软件、机械、液路、气路等多个模块,并进行独立检测,精准确认相关故障位置。(3)状态分析法。使用该方法时可利用数据流变化、错误代码、指示灯变化精准判定相关故障,并明确故障位置。为确保文中案例医疗设备计算机集成系统故障诊断准确性,运用了“组件替换法”“状态分析法”,全面探究监护仪中的数据变化。

### 3.2 信息采集

医疗设备计算机集成系统故障诊断前,要先进行信息采集,并根据相关信息初步判断故障位置与原因。设备集成系统出现故障后,先调取相关监护仪的使用记录,明确其使用时间与运用状态。通过相关记录发现,该监护仪的使用时间超过1周,即相关患者完成手术后,即运用该仪器,且每日操作时间达到14h。将状态分析法引入到故障诊断中,发现监测的患者多为老年群体,其末梢循环较差且体型肥胖,准确监测相关数值较为重要。通过状态分析法探究监护仪中的数据流变化、指示灯变化,发现其“信号处理模块”“设备硬件”易产生故障风险,给患者心率监测带来不良影响。相关人员要通过组件替换法明确相关故障类型与影响范围,提升信号处理准确性,满足医疗设备安全运行需求。

### 3.3 分模块验证

在初步了解医疗设备计算机集成系统的故障信息后,为精准探究故障位置,要开展分模块检测验证工作,根据实际情况,分别检测导联线和传感器,并排查血氧模块。(1)检测导联线和传感器。将以标准信号为基准地发生模拟器运用到故障排查检测中,充分模拟人体真实的心电信号,其振幅与信号分别为0.1-5.2mV、0.05-95Hz。当“人体心电信号”发生变化时,可连接监护仪,适时观看其输入端波形状态,发现其波形正常,即证明当前该心率仪主机信号处理模块处在正常状态,无任何故障。测试心电导联线过程中,通过万用表检测导线电阻,一般来讲,各条导联线电阻值都要保持在500Ω以内。在检测多条导联线后,发现右侧某条导联线的电阻值达到了220Ω,即超出了正常范围,究其原因,该导联线绝缘层产生破损问题,使信号发生快速衰减。(2)排查血氧模块。将组件替换法运用到心率仪故障检测中,适时探索血氧模块是否处在正常状态。根据当前血氧模块型号,将相同型号的新传感器运用到该位置中,并进行波幅检测,发现波形振幅重新回归到正常状态,即说明当前血氧模块存在故障。在探究血氧模块的具体故障时,发现传感器

中的发光二极管呈现老化现象。经检测,传感器中发光二极管的发光强度为120mcd,而正常发光强度需保持在600mcd以上,当前的发光强度难以精准穿透组织,降低了患者心率监测的准确性。

在分成模块验证后,利用“组件替换法”“状态分析法”精准检测到心率仪故障,并详细记录相关数据,为此后维修维护提供准确数值。

### 3.4 维修和验证

(1)维修。在充分了解到医疗设备计算机集成系统的具体故障与故障位置后,要适时开展维修工作。比如,要及时更换血氧传感器中的发光二极管,重新检测该构件波长,使其偏差保持在5nm以内,使发光强度穿透人体组织,并提供准确血氧数据。还要更换已破损的导联线,并在导联线安装前检测其内部电阻值,需达到600Ω以上,确保使用的安全性、稳定性。在安装全新导联线时,要明确屏蔽后的线缆阻抗值,使相关数值保持在30Ω以内,有效缩减导联线应用风险。(2)效果验证。完成发光二极管与导联线的安装后,要进行效果验证,确认其使用状态,为患者心率监测提供充分保障。可将全新的心率仪投放到“人体模型”中,精准模拟心率监测过程,全面监测信号与心率变化范围,并进行详细记录,及时发现其存在的问题并加以调整。在监测“人体模型”心率变化时,发现相关信号准确率达到了95%,且心率始终处在65-145bpm之间,为保障相关数据准确性,监测时间达到了2-3h,发现相关数值的变化范围较小,其误差率控制在2%以内,即全新心率仪可运用在患者心率监测中。“组件替换法”“状态分析法”可持续运用在医疗设备计算机集成系统故障监测中,适时发现故障类型、数量与位置,通过积极调整部件内部性质,提升集成系统应用安全,适时保障医疗系统操作稳定,提升患者监测准确性<sup>[1]</sup>。

## 4 医疗设备计算机集成系统安全维护措施

### 4.1 搭建完整维修管理机制

为缩减医疗设备计算机集成系统故障数量,在日常操作中要进行合理维护,即搭建完整维修管理机制。在维修管理制度中,要设计标准化操作程序,明确正确的操作步骤,引导相关人员正确使用医疗设备,利用该举措有效缩减人为操作失误数量。同时,还要全面采取专人负责机制,严格划分医疗设备维护、操作、维修的具体责任,将相关责任落实到具体的人,在出现相关问题后,可在第一时间处理并找到对应负责人,提升人员操作责任感,保障医疗设备计算机集成系统应用安全。此外,为促进维修管理机制完整性,在日常工作中还要设置设备档案。在相关档案中精准记录展现不同医疗设备的故障类型、故障原因、部件更换位置与数量等,使相关人员快速对照、处理相关故障,保障医疗设备计算机集成系统应用效果<sup>[2]</sup>。要定期更换设备档案系统中的数据软件,明确最新设备维护、维修标准,将该项数据引入到集成

系统安全维护中。

#### 4.2 实行预防性维护

医疗设备计算机集成系统在开展维修维护工作时,要尽量坚持预防为主,因而需适时开展预防性维护工作。一方面,要定期清洁医疗设备内部灰尘,使相关装置始终保持整洁状态,提高设备散热性。医疗设备计算机集成系统在实际运行时,极易因散热不良而损坏电路板,需全面检查系统内部散热性与电路板使用状态,将安全隐患控制在萌芽中。同时,相关人员在维护医疗设备计算机集成系统时可发现,注射器活塞或CT管球等极易出现损坏问题,并给系统运行带来不良影响,因而要根据相关器件实际使用状态,设计更换周期,即在相关构件出现安全隐患前即完成更换,高效预防突发故障。另一方面,在预防性维护医疗设备计算机集成系统时,还要引入大量监测设备,严格监控系统操作时的环境变化,将相关电磁干扰、湿度与温度都控制在标准范围中。比如,当前计算机集成系统的安全操作环境为电磁干扰 $3V/m$ 以下、湿度40%-60%、温度 $16-25^{\circ}C$ ,只有达到上述标准,相关设备系统才能平稳运行。

#### 4.3 引入智能化技术

日常维护医疗设备计算机集成系统期间,为提升维护准确性、稳定性,还要引入智能化技术。将物联网技术与大数据分析技术引入到系统维护工作中,搭建智能化维护平台,密切关注并处理系统潜在故障。需将各类传感器,如温湿度传感器、压力传感器等部署在物联网底部,精准收集设备运行过程中的温湿度、电流或电压数据。在完成数据传输后,借助大数据分析技术精准预测设备潜在故障、使用寿命,明确当前设备运行状态,根据其出现的相关问题进行维修维护,将出现故障隐患的概率降到最低<sup>[1]</sup>。此外,应用智能化技术时,要适时关注医疗设备计算机集成系统运行态势,严格比对当前使用状态与此前操作标准,若相关数据超出正常标准,则说明系统运行状态不佳,适时检查系统内部构件,以确认具体故障,再进行精准处理。

#### 4.4 加强人员技术培训

一方面,医疗设备计算机集成系统在操作维护中,应使用正确操作方法与良好的维护习惯,而上述工作执行人的业务技术能力直接影响操作维护效果,需适时开展人员业务技术培训。在开展操作人员培训时,要采取案例分析、模拟操作等方式,增进人员设备操作的熟练度,降低其操作失

误率,提升设备运行效率。维修人员培训中,要组织该类成员进行技术交流,并在相关会议中全面学习新故障诊断工具操作方法,明确逻辑分析仪、红外热成像仪的操作标准,将其运用到系统维护中。另一方面,为提升人员操作维护责任感,需将维护操作效果与员工薪酬挂钩,即设置合适的奖惩机制,引导相关员工主动开展设备维护维修工作。在实际操作中,若相关人员产生操作失误或设备维修维护不佳,除了要追究其一定的责任外,还要对其进行经济惩罚,保障医疗设备计算机集成系统故障诊断和维护效果。

### 5 医疗设备计算机集成系统故障诊断与维护的发展方向

未来医疗设备计算机集成系统故障诊断和维护的发展方向为实现预测性维护、模块化设计、远程维护等。(1)预测性维护。利用机器学习算法可精准分析探究医疗设备计算机集成系统中的历史故障信息,搭建可预测相关故障的技术模型,在该模型内适时发现潜在风险。(2)模块化设计。在发现医疗设备计算机集成系统中的具体故障后,为提升维修效率,未来维护操作中可增设可插拔模块,即随时连接并断开系统内部操作,有效缩减维修难度,满足设备高质量应用需求。(3)远程维护。借助5G网络引导异地专家进行专业指导,在医疗设备计算机集成系统出现故障前或故障中,快速预警或处理相关故障,提升设备应用安全。

### 6 结语

综上所述,医疗设备计算机集成系统进行日常维护和故障诊断时都要利用先进技术,在实际操作中,可将故障分割法、组件替换法运用到故障诊断中,精准定位相关故障并加以维修。展望未来,在人工智能技术、物联网技术快速发展的当下,医疗设备计算机集成系统的维护工作多朝向预测性方向、智能化方向前进,增进临床医疗的可靠性、安全性。

#### 参考文献

- [1] 姜光运. 基于蒙特卡洛的医疗设备智能调度模型及仿真[J]. 自动化与仪器仪表, 2024, (12): 80-84.
- [2] 王二戈, 黄洁夫, 何飞翔, 等. 模拟定位机信号故障维修案例分析[J]. 中国设备工程, 2024, (23): 201-203.
- [3] 徐云飞. 基于信息化技术的安全运维管理体系在医疗设备管理中的应用[J]. 医疗装备, 2024, 37(22): 43-46.

# The advantages and applications of the one-to-two transmission mode selection for signal amplifiers in lighting beautification projects

Jiaqiang Wang

Shanghai Jianli Construction Group Co., Ltd., Shanghai, 200070, China

## Abstract

With the development of urban night lighting projects towards scale and complexity, the stability and economy of signal transmission have become the main restrictive factors. The traditional “one-to-one” transmission method has drawbacks such as high cost and concentrated fault risk, making it difficult to meet the requirements of medium and large-scale projects. This article focuses on the “one-to-two” transmission mode, explaining its technical principle and connotation. It analyzes the core advantages from the aspects of topological architecture, project execution, cost control, and signal level. Combined with the practical operation of multiple scenarios, it provides an efficient and feasible signal transmission solution for modern lighting and beautification projects, which has wide promotion value.

## Keywords

Lighting Beautification project Signal amplifier One-to-two transmission; Topological structure Engineering Application

# 灯光亮化工程信号放大器一拖二传输方式选择优势和应用

王家强

上海建灏建设集团有限公司, 中国 · 上海 200070

## 摘要

伴随城市夜景亮化工程向规模化、复杂化趋势发展, 信号传输的稳定性与经济性成为主要制约要素。传统“一拖一”传输手段存在费用高、故障风险集中化等弊病, 难以契合中大型项目。本文重点关注“一拖二”传输方式, 阐释其技术原理内涵, 从拓扑架构、工程执行、成本管控、信号水准层面剖析核心长处, 结合多场景应用的实际操作, 为现代灯光亮化工程给出了高效可行的信号传输解决办法, 拥有广泛的推广价值。

## 关键词

灯光亮化工程; 信号放大器; 一拖二传输; 拓扑结构; 工程应用

## 1 引言

当前, 灯光亮化工程已成为城市更新、文旅融合的关键载体, 其应用范围从单一的建筑照明延伸到城市天际线、特色街区、自然景观等多样化场景, 展现出规模化、复杂化的发展趋向。LED 灯具因具备节能、色彩多样等优点而成为主流之选, 但大规模灯具集群面临的信号长距离传输衰减、带载能力不够等问题愈发突出。信号放大器作为核心适配器件, 其传输手段直接关系到系统稳固性与工程经济性。传统“一拖一”线性传输模式, 在中大型项目当中显现出设备冗余、布线纷乱、故障影响面大、运维成本高昂的缺陷。“一拖二”传输方式依托“一进二出”的拓扑革新顺势而生, 本

文通过剖析其原理、长处与应用, 为亮化工程信号传输难题提供技术支撑, 推动行业高质量进步。

## 2 信号放大器“一拖二”传输方式的技术原理

“一拖二”传输方式是指具备多路输出能力的信号放大器, 接收来自控制器的单一输入信号后, 借助内部两套物理隔离的“隔离 - 整形 - 驱动”电路, 将经过放大、整形的标准信号同步输送至两条独立的灯具线路, 进而构建起“控制器 - 一拖二放大器 - 双线路灯具集群”的星型或树型拓扑架构 (图 1)。其本质是信号“分布式放大”, 关键价值在于借助拓扑重构达成负载均分与故障隔离, 增强场景适配灵活性。

【作者简介】王家强 (1982-), 男, 中国安徽合肥人, 本科, 中级职称, 从事电子信息工程研究。

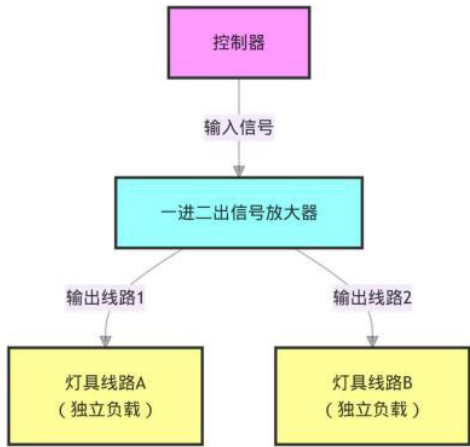


图 1 树型拓扑架构图

### 3 “一拖二”传输方式的核心优势分析

#### 3.1 拓扑结构优化，提升系统可靠性与灵活性

故障隔离成效斐然，两条输出线路采用物理与电气相隔离的设计方式，一旦单路发生短路或者放大器单路通道出现故障，仅仅影响到该线路灯具的运行情况，另一条线路可维持正常工作，达成“故障局部化”。拓扑拓展的便利性极为显著，依托星型/树型拓扑结构，可通过增添多口分配器或者级联“一拖二”放大器，顺利扩展成“一拖四”“一拖八”等多线路体系，不用对原先线路实施大规模改造，和“一拖一”线性拓扑的扩容相比优势极为突出，能够灵活适应项目后期的调整需求。

#### 3.2 工程实施高效，降低施工难度与初期投入

器材与线缆的用量大幅减少，单台“一拖二”放大器可顶替两台“一拖一”放大器，当支路数量相同时，放大器的采购数量减少 50%，配套电源适配器、安装支架、防水箱体等附属装置同步降低。施工及调试的繁杂程度降低，放大器安装数目和布线密度的削减，让控制箱内的线缆排布更简洁，减小了接错线、散热不畅等施工隐患。调试时段能够达成分区单独调试，凭借“哪路故障查哪路”的精准核查模式，调试效率提高 40% 以上，杜绝了“一拖二”方式下逐段排查的繁琐程序。空间适配能力更佳，设备集成式设计减少了安装空间占用量，不用额外增添分箱数目，特别适合老旧建筑改造、小型景观节点等空间有限的场景，缓解了施工空间限制引发的难题。

#### 3.3 全生命周期成本优化，提升工程综合效益

初期投入可得到有效控制，虽然单台“一进二出”放大器的成本比普通“一拖一”放大器高，然而设备的总量呈现减少趋势，再加上线材和安装人工成本实现了节约，中大型项目的初期总投入可削减 15%-25%。以涵盖 100 条灯具线路的亮化项目为例，“一拖二”模式需要 50 台放大器，而“一拖一”方式则需 100 台，仅设备购置成本便可节省约

30%。运维费用明显下降，故障点数量减少，故障隔离功能让排查时长大幅缩减，后期维护工作的工作量明显降低。同时，设备备件库存可减少一半，降低了备件存储成本。

#### 3.4 信号传输质量稳定，保障亮化效果

负载均匀分配改善信号完整性，“一拖二”模式把总负载平均分配到两条独立线路，单条线路的灯具数量和传输距离更为合理，避免了“一拖一”形式下长链路累积衰减的问题。抗干扰性能明显提升，布线距离的缩减与线缆分布密度的下降削减了电磁干扰的耦合途径，搭配光电隔离技术和屏蔽双绞线的采用，“一拖二”系统针对电网波动、外界电磁辐射的抗干扰能力远远强于传统模式，尤其适合城市主干道、变电站周边等干扰源集中的场景，保证了复杂环境下信号传输的稳定。

## 4 “一拖二”传输方式的应用场景与实践要点

### 4.1 主要应用场景

复杂建筑立面亮化工程属于核心应用场景（见图 2），可应用于 L 型、U 型、多立面的写字楼、酒店、历史建筑等项目。例如，建筑的东、西两侧或是南、北立面所安装的灯具可利用“一拖二”放大器分别予以驱动，达成就近布线与分区调控，防止因绕线引发的信号衰减，并且利于依据不同立面的亮化主旨与展示要求，灵活变动控制参数，营造出既具差异化又协调统一的灯光效果。



图 2 案例建筑立面亮化工程应用现场图

城市景观带和街区照明场景里，“一拖二”方式展现出极高的适配度。城市滨水景观带、商业步行街等呈线性伸展且多节点分布的亮化项目，可以顺着线路每隔 100 - 150 米安置一台“一拖二”放大器，分别带动两侧的景观照明、标识灯具与步道照明，形成高效的信号传递网络。这种布局

既保障了信号传输的品质，又精简了布线的逻辑，有利于达成整体灯光效果的协同控制与分区调节。

文旅项目跟公园景区的亮化场景同样适宜，像主题公园、湿地公园这类场景里，分散开来的景点照明、步道照明、景观小品照明可利用“一拖二”方式实现集中管控与分区治理。例如，某主题公园的两处相邻景点可以共用一台“一拖二”放大器，既降低了设备购置与线路铺设成本，又利于依据文旅活动需求，达成两个区域灯光效果的同步联动或单独展示，提高游客的沉浸式体验。

老旧建筑连同改造类的亮化工程中，“一拖二”方式的优势极为显著。此类项目通常面临施工场地狭小、既有管线繁杂、改造施工受阻等状况，“一拖二”放大器的设备集成化优势可降低安装空间的占用量，简明的布线思路利于绕开既有管线的阻碍，降低改造施工对建筑结构所产生的影响，同时保障亮化工程施工质量与信号传输的稳定性。

#### 4.2 应用实践要点

拓扑结构设计应当科学合理，首选“控制器 - 主分配器 - 一拖二放大器 - 灯具线路”的树型拓扑形式，防止环形拓扑引发信号回路，杜绝信号干扰与冲突。按照灯具分布的密集程度与传输距离的远近，科学设定放大器间隔，一般在80 - 120米区间开展信号中继，保证信号传输质量，防止因距离过远造成信号衰减或失真。

设备选型应当精准匹配，依据项目所采用的控制协议（如DMX512、SPI）选择兼容的“一拖二”放大器，保证单路驱动电流契合线路灯具总负载要求，杜绝因负载超载影响信号传递。户外亮化项目应选用防护等级不低于IP65的防水式放大器，具备防雷击、防过流的保护能力，增强设备在户外复杂场景里的适应性与使用时长。

线材选择与线路布置应严格依照规范，必须选用屏蔽双绞线，屏蔽层采取单端接地的形式，切实降低电磁干扰。信号线跟电源线要分开铺设，杜绝平行做长距离布线，交叉

时刻维持90°夹角，减小干扰耦合的可能性，保证信号传输的稳定性与完整性。

负载均衡配置属于关键步骤，两条输出线路的灯具数量与传输间距应尽量达到均衡，防止单路负载过大引发信号衰减。基于DMX512协议，单条线路在理论上允许有512个控制通道，而在实际应用场景中应当预留20%的余量，举例而言RGB灯具（3通道/个）单路最多可配置130个上下，保证线路负载维持在合理区间，维持信号传输品质与设备平稳运行。

调试与验收流程得严谨规范，施工作业前需开展小范围系统检测，校验信号传输稳定性与设备兼容性；施工后实施分区调试操作，查验灯具响应的一致性、故障隔离的效果以及灯光效果的呈现情况；验收之时重点检验满承载、强干扰等极端情形下的系统运行情况，保证契合亮化工程设计标准与使用需求。

## 5 结论

信号放大器“一拖二”传输模式借助拓扑结构革新，跨越了传统“一拖一”线性传输的瓶颈，达成了信号分配与故障隔离的双重改良。该传输模式在多立面建筑、城市景观带、文旅项目等复杂照明工程中契合度颇高。当灯光亮化工程呈现规模化、复杂化态势时，“一拖二”传输方式借助高效、可信、划算的核心特点，成为现代专业亮化工程的首选信号传输办法，具备广泛推广应用价值。

#### 参考文献

- [1] 李永,赵正平.RF CMOS、BiCMOS的新进展(三)——功率放大器、RF信号放大器与发射机[J].半导体技术,2025,50(10):981-994.
- [2] 郑勇伟,张江华,文宏武,等.一种便携式储能放大器[J].电器工业,2025,(05):95-98+102.
- [3] 熊翌竹,李祖猛.一种增益自适应光电信号放大器[J].自动化与仪表,2023,38(05):81-84+95.

# Application and Innovation of Cloud Security Based on SaaS Model in Small and Medium-sized Enterprises

Yajun Zhu

Zhenjiang Branch of China Mobile Communications Group Jiangsu Co., Ltd., Danyang, Jiangsu, 212300, China

## Abstract

This study utilizes China Mobile Cloud's cloud security technology and the practical cybersecurity incident response experience of Danyang Municipal Cyberspace Administration to explore the application of cloud security SaaS services in various scenarios for small and medium-sized enterprises (SMEs). Characterized by lightweight, high efficiency, and cost-effectiveness, these services are particularly suitable for typical digital economy scenarios such as ransomware protection, data security, and endpoint defense for SMEs. Effectiveness evaluations demonstrate that this model significantly reduces malware infection rates, decreases the likelihood of data breaches and ransomware attacks, while substantially shortening security incident response times. Through the integration of theoretical analysis and practical implementation, we have developed this methodology, providing SMEs with effective technical references and actionable solutions for digital economy security.

## Keywords

SaaS; cloud security; mobile cloud; cloud-network integration

# 基于 SaaS 模式的云安全在中小企业的技术应用与创新探索

朱亚俊

中国移动通信集团江苏有限公司镇江分公司, 中国·江苏 丹阳 212300

## 摘要

此文基于中国移动云的云安全技术, 结合丹阳市网信办的实际网络安全事件处置经验, 本文研究云安全SaaS服务在中小企业多场景下的应用, 云安全服务具有轻量化、高效率、低成本的特征, 适宜于数字经济背景下中小企业勒索病毒防护、数据安全和终端防护等典型场景, 效果评估显示, 这个模式能显著降低恶意软件感染率, 它减少了数据泄露和勒索病毒的发生概率, 同时显著缩短了安全事件的响应时间。通过理论和实践的结合, 我们归纳出这套方法, 为中小企业数字经济安全提供了有效的技术参考和实施方案。

## 关键词

SAAS; 云安全; 移动云; 云网一体

## 1 引言

在数字经济时代, 中小企业面临勒索病毒威胁、数据安全隐患和信息泄露等多重数字安全风险, 以往基于硬件部署和本地运维的传统安全防护方法存在灵活性不足、运维成本昂贵、响应延迟等挑战, 这些手段已经不足以满足中小企业对轻量化、高效率、低成本安全能力的核心要求, 此文着重研究 SaaS (Software as a Service) 云安全。SaaS 具有按需订阅、快速部署、集中运维的特性, 文章分析了它在勒索病毒防护、数据安全、终端防护等场景的应用, 这种模式能降低资源支出, 它还可以提供全链路的安全防护能力, 这为

中小企业建立新的安全体系提供了有效的解决方案, 文章分析了当前模式的缺陷之处, 阐述了未来发展的潜在性, 目的是为中小企业安全建设探讨有效的技术方案和实施方法。

## 2 中小企业网络安全现状与问题分析

### 2.1 中小企业主要网络安全威胁

当前, 中小企业的数字经济发展既面临着机遇, 也充满挑战, 其中之一便是网络安全风险, 主要威胁可归纳为以下几类:

恶意软件: 由于员工终端因访问非法网站或打开钓鱼邮件, 易引入病毒、木马、蠕虫等恶意程序, 可能导致系统瘫痪或数据窃取, 严重情况下还会影响网络的正常运行。

勒索软件: 攻击者通过漏洞利用或社会工程手段加密核心业务数据, 索要赎金, 这对企业生存构成严重威胁。

数据泄露: 因数据库配置错误、API 接口暴露或内部

【作者简介】朱亚俊(1983-), 中国江苏丹阳人, 本科, 工程师, 从事云业务、大数据、物联网在行业信息化中的应用研究。

人员误操作，客户信息、财务数据等关键资产易遭被非法获取，引发合规风险与品牌声誉损失。

## 2.2 传统网络安全防护方案的缺失

在数字经济边界特征已从传统的封闭局域网，演变为业务上云、数据跨域流动、终端泛在化（涵盖 IOT 设备、移动终端）以及 AI、大数据、区块链等新技术的广泛应用。传统依赖“城堡-护城河”式边界防护的模式，难以实现对动态、泛在风险的持续可见与有效控制。

与此同时，数字经济环境下的业务迭代速度显著加快，多地协同成为常态，这对安全体系的敏捷部署与策略调整能力提出了更高要求。然而，传统防护模式普遍依赖一次性硬件采购，部署周期往往以周或月计，策略变更亦需现场操作，难以及时响应业务的快速变化。

此外，电商大促、直播带货等新业态普遍具有流量突发性强、峰值波动大的特点。传统安全方案多基于固定性能的硬件设备构建，面对流量激增时易出现性能瓶颈，甚至在吞吐能力不足时导致防护策略失效或业务中断，直接影响业务连续性与用户体验。

## 3 移动云云安全解决方案能力和特点

调研显示，传统防护模式在架构边界、资源投入、部署效率与弹性能力等方面均难以匹配中小企业数字经济背景下的安全需求。针对以上痛点，移动云提出“云-网-边-端”协同的 SaaS 化云安全架构，实现从终端接入到数据运营的全链路防护，支持按需订阅、弹性扩展与统一运维。

### 3.1 云安全技术和重要能力

#### 3.1.1 云网融合的安全能力

云网融合的核心在于打破网络与安全的割裂状态，实现“网随算动、算网一体”的一体化防护与调度，从而提升安全策略与网络资源的协同效率。

云网安一体化接入：通过 SASE 架构，将安全 Web 网关（SWG）、云访问安全代理（CASB）、零信任访问与云端安全能力融合，对总部、分支及移动办公的访问流量进行统一纳管，实现上网行为管控、应用识别与策略统一，并以云原生方式轻量交付，显著简化多设备、多分支场景的运维工作。

统一编排与算网大脑：依托自研“大云”操作系统与算网大脑，实现异构算力并网与云网资源的统一编排，使云网服务可做到一点接入、即取即用，在安全与网络能力之间建立高效的联动通道。

高可用与就近防护：结合“N+31+X”与 3000 余个边缘节点的广域覆盖，以及云专网与多 AZ 资源池，提供路径可视、故障快速倒换与就近清洗/防护能力，确保跨域与高并发业务场景下的安全与连续性。

#### 3.1.2 云边协同的安全能力

云边协同旨在将安全能力延伸至业务最近侧，缩短威

胁检测与处置的路径，特别适合工业现场、园区、CDN/视频、物联网等对低时延与本地化合规有较高要求的场景。

分布式云与边缘算力：采用“大区制中心节点+分布式边缘架构”匹配国家“东数西算”8 大枢纽布局，已在全国上线 33 个直管资源池、13 个中心节点、16 个省级节点、3000 个边缘节点，使安全能力可贴近业务发生地部署。

边缘安全托管：在边缘侧布设轻量化安全代理或网关，与云侧统一策略编排联动，实现终端—边缘—云三级的威胁检测、联动处置与日志统一回传，满足本地化合规与低时延需求。

统一安全运营：以态势感知+SOAR 实现跨域安全事件的关联分析与自动化响应，配合云堡垒机与日志审计，满足多租户、多分支的合规审计与取证要求；在重大活动与关键时期，可提供 7×24 小时属地化快速响应。

### 3.2 云安全 SaaS 服务特点

云端软件服务（SaaS）是一种创新的软件交付模式，它将应用程序部署于远程服务器，让用户能够通过网络获取所需功能。

在中小企业云安全领域的实践中，这一方案有效化解了本地部署方式带来的资源浪费、运维开销巨大以及安全策略更新不及时等难题，特别适合预算受限且技术实力不足的中小型企业。

基于云端托管和即时接入的特点，移动云安全服务能够在不大幅改动现有系统架构的情况下，快速部署网站防护功能，大幅缩减防护体系的建设周期。系统可根据业务负载的起伏自动调节防护规模，有效应对电商大促、在线直播等高访问量场景，确保安全防护效果和业务持续运营。

此外，通过将安全功能细分为独立模块并支持灵活订购，中小企业可以先从基础防护开始，随着业务发展逐步增加或升级所需的安全组件。这种方式既能避免业务淡季时的资源闲置，又可在业务扩张期快速获取所需的安全保障，实现了资源效益和投入成本的最优配置。

## 4 云安全在中小企业重点应用场景

在数字经济背景下，不同行业及业务形态所面临的网络安全威胁呈现出显著的差异化特征。为有效应对复杂多变的安全风险，以下结合实际应用，重点阐述三大典型场景下的安全挑战与应对策略。

### 4.1 智能工厂边界安全防护体系构建

解决痛点：中小企业普遍面临网络防护能力薄弱的问题：其一，网络边界划分模糊，生产网与办公网未进行有效隔离，易形成攻击传导路径；其二，缺乏专业安全监测工具，难以实现全局态势感知，对勒索病毒、工控协议攻击及横向渗透等威胁的发现与响应滞后；其三，传统硬件防护部署成本高、运维复杂，与中小企业资源禀赋不匹配。

方案应用：在企业网络出口侧部署专线安全卫士，集

成下一代防火墙 (NGFW)、入侵防御系统 (IPS) 等安全功能模块, 实现网络层与业务层的双重边界防护。依托云端移动云安全运营平台的智能算法对流量、设备行为及协议特征进行多维度分析, 实现威胁态势预测与实时预警。当检测到攻击行为时, 系统可自动生成并下发阻断策略至边缘防护设备, 完成“检测—分析—响应”闭环。

#### 4.2 Web 业务安全场景

解决痛点: 中小企业的线上电商交易平台直接面向公网, 易遭受 SQL 注入、跨站脚本攻击 (XSS)、CC 攻击等 Web 应用层威胁; 在业务高峰期, 流量激增易导致防护性能不足, 进而引发交易中断、数据泄露或客户信息被爬取。

方案应用: 采用 SaaS 化 Web 应用防火墙 (WAF) 与云原生下一代防火墙相结合的防护架构。该方案具备弹性伸缩能力, 可根据实时流量动态调整防护资源, 有效抵御各类 Web 层攻击, 满足中小企业对成本效益与安全性能的双重需求。

#### 4.3 勒索病毒综合防护

解决痛点: 中小企业普遍面临基础防护薄弱、攻击入口多、勒索病毒防不住、备份缺失或失效、业务恢复难救不回、专业能力匮乏、处置效率低响应慢等问题。

方案应用: 使构建“预防—检测—恢复”三位一体的勒索病毒综合防护体系。首先, 依托云存储与云备份服务, 建立自动化、周期性的数据备份策略; 其次, 在网络边界部署具备多引擎病毒查杀、入侵防御 (IPS)、僵尸网络识别与阻断能力的“专线安全卫士”, 从入口层面阻断初始攻击载荷; 最后, 结合云端安全运营中心 (SOC) 提供 7×24 小时威胁监测与专家级应急响应支持, 全面提升中小企业的主动防御与灾后恢复能力。

### 5 移动云安全在中小企业的实践验证与前景研究

#### 5.1 应用效果量化评估与实证分析

为验证所提云 sass 安全解决方案的实际效能, 结合参与丹阳市网信办网络安全事件处置的实践, 在 2023 年至 2024 年期间, 对 106 家制造、电商及服务类中小企业开展试点部署, 并采集关键运行数据进行量化评估。

表 1: SaaS 云安全部署前后效果对比

	实施前	实施后	改善率
恶意软件感染率	20.6%	5.5%	73.3%
数据泄露	10 起	0 起	100%
勒索病毒	5	0	100%
安全事件响应时间	平均 5H	平均 30min	90%

注: 改善率 = (实施前 - 实施后) / 实施前 × 100%

典型案例场景效果佐证:

某眼镜制造企业在部署专线安全卫士+云备份体系后, 成功拦截一起利用 SMB 协议漏洞的勒索病毒横向渗透攻击。系统在 3 分钟内完成告警、策略下发与网络隔离, 避免约 200GB 生产图纸数据被加密。

#### 5.2 未来应用前景与发展方向

在当前人工智能技术不断革新的背景下, 云安全也需通过人工智能赋能。将大语言模型、机器学习算法等人工智能技术深度融合到 SaaS 云安全体系中, 在威胁检测、漏洞挖掘、态势感知与自动化响应 (SOAR) 等场景中, 深度应用大模型与智能体, 这种整合促进中小企业的运营模式逐步从传统的“人工主导的分析研判”向“智能助理驱动的自动化处置”转变, 这一转变不仅有效降低了中小企业安全运营的技术门槛与人力成本, 还在高频网络威胁场景中实现更快速、更精准的安全响应。

#### 5.3 局限性与未来工作展望

尽管基于 SaaS 模式的云安全技术在中企展现出显著优势, 其“通用化”特性反而可能成为制约因素。制造、医疗、教育、电商等行业的安全需求差异明显, 不同行业对数据安全与隐私保护的合规要求差异显著。未来 SaaS 云安全将向行业化模板发展, 如工业协议深度检测、医疗数据隐私合规包、教育网络安全准入包等, 实现“一键适配”。

### 6 结语

本文针对中小企业安全困境, 提出“云-网-边-端”协同 SaaS 架构, 融合云网融合、云边协同, 构建“预防—检测—恢复”防护体系, 实现跨域弹性防护与按需订阅。实证显示, 试点企业恶意软件感染率降 73.3%, 勒索病毒与数据泄露零发生, 响应时间缩 90%。创新在于架构突破、技术融合及轻量化应用模式, 为中小企业提供高性价比安全方案, 未来将深化 AI 与行业化适配, 助力行稳致远。

#### 参考文献

- [1] 邹莉萍 & 邹莉强.(2025).基于云计算技术的网络安全防御技术研究.哈尔滨职业技术学院学报,(06),92-94. <https://doi.org/10.16145/j.cnki.cn23-1531/z.2025.06.007>.
- [2] 迟江波 & 殷册.(2025).计算机网络安全的前沿防护策略研究.电脑知识与技术,21(21),61-63. <https://doi.org/10.14004/j.cnki.ckt.2025.1041>.
- [3] 张怡晨.(2025).基于算网融合背景下的云安全管理及防护测评研究.通信与信息技术,(02),80-84.
- [4] 冯云婷,李攀,李景景 & 刘紫阳.(2025).电子信息工程中网络安全技术应用研究.软件,46(02),4-6.
- [5] 何文康,秦余芬,聂耀峰 & 刘烨.(2025).基于等级保护2.0标准的公有云上业务安全测评研究与实践.网络安全技术与应用,(02),72-77.

# Research on Dynamic Control of Highway Construction Cost from the Perspective of Green Construction

Yi Luo Ming Wen Wanzhang Su

Yunnan Jiaotou Yunling Bridge Intelligent Construction Co., Ltd., Kunming, Yunnan, 650000, China

## Abstract

Traditional highway construction cost control predominantly focuses on static management of direct engineering expenses, overlooking long-term hidden costs such as environmental and social impacts. Under the dual carbon goals and sustainable development strategy, green construction has become an inevitable choice. This paper re-examines the cost structure and control logic of highways from the perspective of green construction. It first elucidates the connotations and interconnections between green construction and dynamic cost control, demonstrating that green construction serves as a critical pathway for optimizing lifecycle costs. The main body constructs a dynamic cost control system integrating green elements, comprising three modules: cost planning based on green objectives, process monitoring incorporating green indicators, and lifecycle cost evaluation. The study analyzes the dynamic impacts of green technology applications on short-term construction costs, long-term operations, and environmental costs, proposing control strategies and safeguard measures. Finally, it emphasizes that establishing a data-driven, lifecycle value-maximizing integrated cost control platform is pivotal for high-quality development and green transformation of highways, providing a theoretical framework and decision-making reference for project management.

## Keywords

green construction; expressway; dynamic cost control; life cycle cost; sustainable development

## 绿色施工视角下高速公路建设成本动态控制研究

罗毅 文明 苏万章

云南交投云岭桥梁智能建造有限公司, 中国·云南 昆明 650000

## 摘要

传统高速公路建设成本控制多聚焦工程直接费用的静态管控, 忽视环境、社会等长期隐性成本。在“双碳”目标与可持续发展战略下, 绿色施工成必然选择。本文从绿色施工视角重新审视高速公路成本构成与控制逻辑, 先阐述绿色施工与成本动态控制的内涵及关联, 论证绿色施工是全生命周期成本优化的重要路径。正文构建融合绿色要素的成本动态控制体系, 含基于绿色目标的成本规划、融入绿色指标的过程监控、全生命周期成本评估三大模块。研究分析绿色技术应用对短期建设成本与长期运营、环境成本的动态影响, 提出控制策略与保障措施。最后指出, 构建数据驱动、全生命周期价值最大化的成本动态控制集成平台, 是高速公路高质量发展和绿色转型的关键, 为项目管理提供理论框架与决策参考。

## 关键词

绿色施工; 高速公路; 成本动态控制; 全生命周期成本; 可持续发展

## 1 引言

高速公路是现代交通网络主动脉, 建设规模与技术水平关乎国家经济发展。但传统建设模式追求效率与经济效益时, 引发资源消耗大、生态扰动显著、能源排放突出等问题。其成本控制体系多聚焦材料、人工等直接费用, 是静态、事后、局部最优的管理模式, 难以反映真实环境与社会成本, 还使项目后期运营面临高昂修复等费用。随着“生态文明建设”推进和“双碳”目标提出, 交通运输领域绿色低碳转型刻不容缓。绿色施工贯彻可持续发展理念, 通过科学管理和

技术进步, 节约资源、减少环境影响、保障人员健康安全, 正从倡导理念变为强制实践, 对传统成本控制带来挑战。

有人认为绿色施工等同高成本, 实则不然。绿色施工许多措施, 如精细化土方平衡等, 初期或有投入, 但能从多方面产生长期经济效益。从绿色施工视角看, 成本控制要将边界拓展到项目全生命周期, 将环境外部成本内部化, 控制模式转为动态管理。本文旨在打破“绿色”与“成本”对立的思维, 系统论述在高速公路建设中, 如何将绿色施工要求嵌入成本动态控制全过程。通过构建融合绿色目标的动态控制框架, 分析关键绿色措施的成本-效益动态流, 证明科学实施绿色施工是实现项目经济效益、环境效益与社会效益协同优化的有效途径, 为交通基础设施建设高质量发展提供理论和实践指引。

【作者简介】罗毅(1990-), 男, 布朗族, 中国云南临沧人, 本科, 助理工程师, 从事公路工程研究。

## 2 绿色施工与成本动态控制的内涵关联

### 2.1 绿色施工的核心维度

高速公路项目的绿色施工,主要涵盖四个核心维度:(1)资源节约:包括土地集约利用、节水、节材(如使用高性能混凝土、钢材优化下料)、节能(应用可再生能源、提高机械能效);(2)环境保护:涵盖水土保持、噪声与扬尘控制、污水净化排放、减少光污染、保护沿线生物多样性等;(3)工艺创新:采用装配式结构、永临结合技术、建筑信息模型(BIM)、智能压实等低影响、高效率的施工技术;(4)人本健康与安全管理:改善作业环境,保障劳动者职业健康。这些维度共同指向了施工过程的“精细化”与“可持续化”。

### 2.2 成本动态控制的演进与特征

成本动态控制是对传统静态成本管理(如定额预算、事后决算)的超越。其核心特征在于“全过程、实时性、前瞻性、反馈调整”。它贯穿于项目决策、设计、采购、施工、运营维护各个阶段,通过实时数据采集(如物联网、BIM技术),持续对比分析计划成本与实际成本的偏差,并预测未来成本趋势,进而及时采取纠偏措施。它是一个闭环的、不断迭代优化的管理过程。

### 2.3 二者的内在逻辑融合

绿色施工与成本动态控制在目标与手段上高度契合。首先,目标一致性:二者最终目标都是追求项目整体价值最大化,绿色施工关注长期综合价值(含环境价值),成本动态控制则通过管理手段实现经济价值最优。其次,过程互动性:绿色施工措施的实施效果(如节能量、材料回收率)直接转化为成本数据,是动态控制需要监测的关键绩效指标(KPI);反之,成本动态控制系统为评估绿色措施的经济可行性提供了量化工具。最后,系统集成性:二者都强调整体最优而非局部最优。例如,选择单价稍高的环保型边坡生态防护技术,从静态看增加了建设成本,但从动态和全生命周期看,其减少了后期养护费用、水土流失治理成本,并创造了生态景观价值,整体成本效益更优。因此,将绿色要素融入成本动态控制体系,是成本管理理论在可持续发展时代的必然发展。

## 3 绿色施工视角下成本动态控制体系的构建

一个完整的绿色施工视角下的成本动态控制体系,应包括以下三个相互关联的模块。

### 3.1 基于绿色目标的成本动态规划(事前控制)

在项目前期策划与设计阶段,就应确立明确的绿色目标(如单位产值能耗下降率、建筑垃圾再利用率、临时用地复垦率等),并将这些目标量化为成本参数,纳入总投资估算和分项预算。绿色方案比选对关键工程(如路基填筑、桥梁架设、隧道开挖)提出多个具备不同“绿色度”的技术方案,利用价值工程或全生命周期成本分析(LCCA)方法进行比选。例如,对比传统爆破开挖与环保静态爆破方案,不仅要

计算直接的工料机费用差异,还要预估噪声罚款、粉尘处理、周边建筑损伤风险等潜在成本。合同价格机制创新:在招标文件和合同中,设置与绿色绩效挂钩的价款支付条款或奖惩机制。例如,设立“绿色施工专项奖励基金”,对达到或超过预设节能、节水、节材指标的承包商进行奖励,将环境成本/效益内部化。

### 3.2 融入绿色指标的施工过程动态监控(事中控制)

这是成本动态控制的核心环节,关键在于建立一个能够同步追踪经济成本与绿色绩效的实时信息平台。多维数据采集:利用BIM平台集成工程算量、进度、成本信息,同时通过物联网技术,实时采集施工现场的能耗(智能电表、油耗传感器)、水耗、主要材料消耗、扬尘与噪声监测数据、建筑垃圾产生与运输数据等;动态偏差分析:不仅分析实际货币成本与计划成本的偏差(CV,成本偏差),还要分析关键绿色指标的实时数据与目标值的偏差(如实际能耗vs计划能耗)。当发现材料浪费率异常升高或能耗超标时,系统应能预警,并联动分析其对项目总成本的影响;实时反馈与优化:根据动态分析结果,管理者可以迅速定位问题源头。例如,发现某段路基压实作业燃油消耗超标,可能原因是机械老化或工艺不当,及时调整设备或工艺,既能降低燃油成本,又能减少碳排放,实现经济与环保效益的双重纠偏。

### 3.3 全生命周期成本动态评估与后评价(事后与长期控制)

项目竣工并不意味着成本控制终结,绿色施工的效益很多是在运营期显现。运营期成本追踪:建立项目运营阶段的成本与绿色绩效数据库,重点关注与前期绿色施工措施直接相关的成本项。例如,生态边坡的养护成本vs传统浆砌片石边坡的维修成本;使用LED节能灯具的隧道其长期电费节省情况;透水路面对减少区域排水系统负荷的贡献等。后评价与知识管理:在项目运营一段时间后,进行系统的全生命周期成本后评价。综合评估初期绿色投入与长期运营节约、环境损害减少、社会声誉提升等综合效益之间的关系。将评价结果形成知识库,用于指导未来项目的成本动态规划,形成“规划-监控-评估-反馈”的螺旋式上升闭环。

## 4 关键绿色措施的成本动态影响分析与控制策略

### 4.1 建筑垃圾资源化利用

动态影响分析:传统外运填埋处理方式,成本表现为直接的清运费和填埋费。而现场破碎、筛分后作为路基填料或制砖利用,初期需投入移动式破碎设备成本,但节省了外运成本、购土费用,并减少了取土场的环境破坏成本。控制策略:在规划阶段,即对工程挖方和旧路拆除量进行精准测算,设计好资源化利用的工艺路线和产出物用途。在施工中,动态监控垃圾产生量、分类纯度、再生产品质量及其替代原生材料的比例,实时计算成本节约额,激励承包商提高资源化效率。

## 4.2 节能环保型施工机械与临建

动态影响分析：采用符合国四及以上排放标准的非道路移动机械，其购置或租赁单价可能更高。但其燃油效率高，长期燃油成本低，且能避免因排放不达标导致的停工罚款或环保税。使用太阳能光伏板供应营地照明，初期有投资，但能大幅减少施工期电费支出。控制策略：在机械选型与采购招标中，引入“总拥有成本”概念，将能耗、排放维修率等纳入评标体系。对临建设施进行标准化、装配化、绿色化设计，实现多次周转使用，摊薄单次项目的绿色投入成本。

## 4.3 生态环保技术与工艺

动态影响分析：如声屏障采用吸声效果更好、且使用回收材料制作的环保型产品，其单价可能高于普通金属屏障。但其降噪效果更佳，能减少对周边社区的干扰，降低投诉风险和潜在的工期延误成本。表土剥离与保护再利用技术，增加了初期工序，但保护了珍贵的土壤资源，为后期绿化复垦节省了客土购买费用，生态价值显著。控制策略：在环境影响评价阶段，就量化分析不同环保方案对周边社区的潜在影响及其可能引发的经济风险（如赔偿、诉讼）。在成本预算中，设立“环境风险准备金”，并优先投资于能实质性降低长期环境风险与运营维护成本的生态技术。

# 5 实施保障与挑战

## 5.1 保障措施

组织与制度保障：项目公司应设立跨部门的绿色成本控制小组，整合工程、合约、财务、环保部门的职能。制定《绿色施工成本动态控制实施细则》；技术与数据保障：投资建设集成BIM、GIS、物联网、大数据分析的智慧工地管理平台，为动态控制提供可靠的数据基础；人员与能力保障：加强对项目管理及施工人员的绿色施工与全生命周期成本理念的培训，培养复合型管理人才。

## 5.2 面临挑战

标准与定额体系滞后：现有公路工程预算定额体系未能充分反映许多绿色新技术、新工艺、新材料，导致其成本难以准确计量和计价；长期数据缺失：全生命周期成本评估依赖长期的运营数据，目前项目各阶段数据割裂，运营期数据难以与建设期绿色措施有效关联；短期利益导向：在建设主体与运营主体分离的模式下，投资方可能缺乏为长期运营效益而增加初期绿色投入的动力。

# 6 结语

在生态文明建设的新时代语境下，高速公路建设的成

本控制已不能局限于传统的经济账本。从绿色施工的视角出发，成本控制被赋予了更丰富的内涵和更广阔的时间维度。本文研究表明，绿色施工与成本动态控制并非矛盾体，而是可以通过系统性的融合，共同服务于建设项目全生命周期综合价值最优化的统一体。将绿色目标转化为成本参数，并将其纳入从规划、设计、施工到运营的全过程动态管理闭环，是实现这一融合的关键。这要求项目管理从思维模式到工具方法进行全面升级：从追求短期、显性成本最低转向追求长期、综合成本最优；从依赖经验静态管理转向依托数据动态决策；从部门割裂管理转向全链条协同管控。

尽管面临标准滞后、数据壁垒和利益机制等现实挑战，但这一转型趋势不可逆转。未来的研究与实践应聚焦于：开发适用于绿色公路工程的全生命周期成本计价标准与软件工具；构建跨项目、跨区域的基础设施绿色绩效与成本大数据平台；探索创新性的投融资与合同模式（如绿色债券、绩效合同），以激励全生命周期绿色价值的实现。唯有如此，高速公路才能不仅作为连接地理空间的物理通道，更成为践行绿色发展理念、承载低碳未来的典范工程，真正实现经济效益、环境效益与社会效益的和谐统一，为交通强国和美丽中国建设奠定坚实的基础。

## 参考文献

- [1] 中华人民共和国交通运输部. 绿色交通“十四五”发展规划[Z]. 2021.
- [2] 中国公路学会. 公路工程绿色施工规范: JTG/T 3610-2019[S]. 北京: 人民交通出版社, 2019.
- [3] 建设项目全生命周期造价管理研究课题组. 建设项目全生命周期成本管理[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2018.
- [4] 王守清, 柯永建. 特许经营项目融资(BOT、PFI和PPP)[M]. 北京: 清华大学出版社, 2015. (其中涉及全生命周期成本分析)
- [5] Zhang, X., Wu, Y., Shen, L., et al. A framework for assessing the carbon footprints of mega infrastructure projects. *Journal of Cleaner Production*, 2017, 162, 105-115.
- [6] 刘伊生, 王小龙. 基于BIM的工程项目成本动态控制研究[J]. *工程管理学报*, 2018, 32(02): 1-6.
- [7] 肖绪文, 冯大阔. 建筑工程绿色施工现状分析及推进建议[J]. *施工技术*, 2013, 42(01): 1-4.
- [8] 李蕾, 陈建国. 基于物联网的施工项目成本实时监控系統研究[J]. *土木工程与管理学报*, 2019, 36(04): 174-180.
- [9] 胡文发, 何新华. 绿色施工驱动因素及实施障碍的实证研究[J]. *中国软科学*, 2012, (S2): 200-208.

# The embedded-Software Online Incremental updating scheme for Satellite embedded devices

Tianlong Sun

The 10th Research Institute of CETC, Chengdu, Sichuan, 610036, China

## Abstract

To Adapt the changing application requirement In Satellite Communication field, providing the online update service is an absolutely effective method to improve the performance of software updating. The embedded software of Satellite terminal device's updating is constrained by the resource of satellite's communication channel, the stability of transmittal, speed, the capacity of storage and the processing, and so on, therefore, the article is trying to design a kind of Online Incremental updating scheme to resolve the above problems.

## Keywords

Dicdiff algorithm; Architecture of dictionary; Sub-Sequence Search; Suffix tree; Update online

## 基于动态数据字典的卫星终端嵌入式软件 OTA 方案

孙天龙

中国电子科技集团公司第十研究所, 中国 · 四川 成都 610036

## 摘要

在卫星通信领域, 为适应不断变化的应用需求, 对分布在广泛地理区域的卫通星载设备、卫星终端提供软件远程在轨升级服务, 可大幅节省设备维护成本, 同时有效提升软件升级效能。卫通星载设备和卫星终端嵌入式软件远程在轨升级和加载运行时通常受制于卫通信道的资源限制、传输稳定性、速率、终端存储和处理能力等因素, 因此本文将探讨一套卫通终端嵌入式软件的在线增量高效OTA方案, 以适应卫星终端嵌入式设备软件的高效能升级需求的应用场景。

## 关键词

增量包构造算法; dicdiff算法; 字典结构; 子序列搜索; 后缀树; 在轨升级

## 1 引言

随着卫星通信技术不断发展, 基于卫星通信系统的集成应用需求日益增加, 卫星终端嵌入式软件作为实现卫星通信应用的重要软载体, 为满足不断变化的应用需求, 卫星终端将面临跨多区域、小步迭代、频繁变更的软件在轨升级需求。

本方案相较于卫通行业其它卫星终端升级, 更优化设计了基于数据字典的增量升级技术, 同时借鉴了当前主流智能汽车 OTA 关键技术, 在综合效能、压缩效能、升级容错等方面, 进行更体系的设计, 并在实测场景中展现出更好的升级效能、容错性、稳定性等优势。

## 2 设计方案

### 2.1 关键技术概述

本方案实现的关键技术主要包括: 1) 增量更新算, 采用构造增量包和恢复全文件进行升级 2) 版本控制与校验, 升级文件版本控制和采用 MD5 码生成校验 3) 分片传输与断点续传, 通过设计传输协议, 分片待传输文件, 并实现断点记录和续传 4) 安全传输和加密 5) 多线程和异步处理, 使用多线程处理文件传输、解压缩、安装等, 并支持后台异步处理 6) 回滚机制, 升级失败时能回滚到旧版本 7) 日志记录与反馈, 记录升级过程中的关键事件, 如: 进度、安装状态、错误信息等 8) 降级策略, 在版本不兼容或升级性能下降时自动降级到旧版本。

本方案主要探讨基于动态数据字典的增量更新技术在卫通终端嵌入式软件 OAT 中的实现和应用。在卫通信道资源受限、升级效能要求高的背景下, 将增量更新技术应用于卫星星载设备及卫星终端嵌入式软件增量升级服务中, 可极大地缩小文件传输和存储的时空消耗, 非常适应卫星终端远

【作者简介】孙天龙 (1991-), 满族, 中国黑龙江绥化人, 硕士, 工程师, 从事通信软件系统设计。

程升级的应用场景。增量更新机制见图 1。

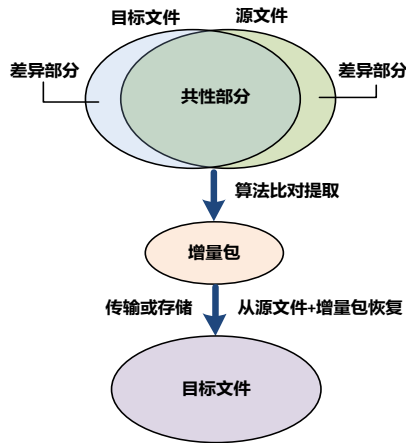


图 1 软件增量更新机制

### 2.2 增量包构造算法分析

增量包构造是实现增量更新的关键步骤，合成新文件是构造的逆过程，构造增量包的算法主要是使用数据结构、文件对比算法和差异编码算法，这些算法的时空复杂度及压缩率不同，但都是基于有效的方法查询文件的公共数据段（即相同部分内容），以此来构造增量包。

对于公共数据段的查找是否全面且高效，决定了算法的压缩率，也决定了新旧数据包的差异大小，以及增量包的尺寸大小。目前基于子序列搜索的公共数据段选择方法处理长字符串的应用耗时较大，效率较低；基于字典结构的公共数据段选择方法效率较高，常用算法有 **dicdiff** 动态数据字典算法、**rdiff** 算法等；基于后缀树搜索的公共数据段选择方法构造增量包的时间较长，数据压缩率较高，常用算法有 **bsdiff** 算法等。

### 2.3 系统架构和流程设计

本方案设计在本地开发部署软件在线升级服务端，提供对不同空间区域卫星终端软件在线升级服务。卫星终端作为客户端，服务端综合考虑时间效率、压缩率等因素选取基于动态字典的增量包构造算法（**dicdiff** 算法）进行设计，结合当前本地软件文件通过实现增量更新算法逆过程恢复构建待升级新版数据文件。

在线增量升级嵌入式软件设计采用分层、组件化、服务化逻辑架构进行设计，逻辑架构分为基础构建层、服务层、应用层三层架构来实现。其中基础构件层主要包括：服务订阅组件、线程组件、文件组件、定时器组件、序列化组件等基础服务。服务层主要包括：**dicdiff** 增量算法服务、数据压缩服务、文件传输服务等。应用层主要包括：升级控制、升级状态监视、信道通信状态监视等。增量升级流程见图 2。

### 2.4 算法和处理流程

本方案提升升级效能的关键在于提高增量包的数据压缩率。算法采用基于动态字典的 **dicdiff** 算法，实现高数据压缩率、高时间效率的安装文件增量包升级，主要实现查找

和编码两方面的解决方案。查找方案寻求在旧版本文件中查找到尽可能多的公共数据段，减少增量包的差异信息，从而提升增量升级包的数据压缩率。基于动态字典算法，根据新旧文件数据，获取前部数据构造为新文件的后部数据的已知数据集，形成动态字典，并根据增量包构造逐步完善动态字典以支持查询能力的提升。同时，需要通过后缀数组、前缀数组来构建字典目录用于提高内容的索引查询效率。基于动态字典的增量包构造流程见图 3。

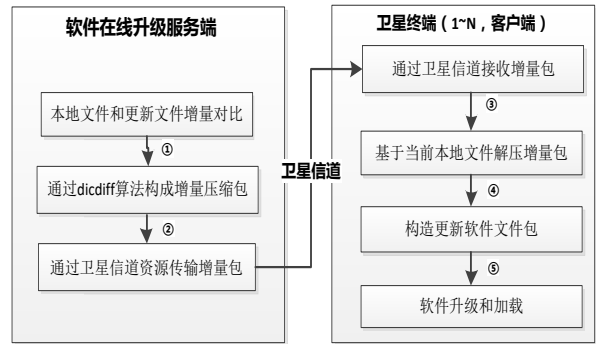


图 2 系统增量升级流程设计

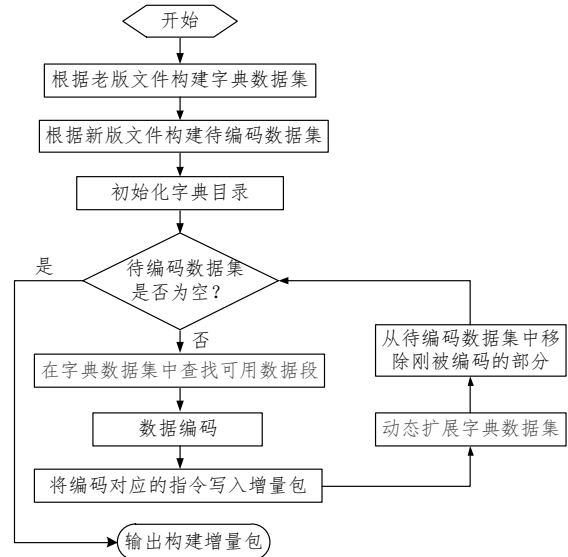


图 3 基于动态字典算法的增量包构造流程

动态字典由字典目录、动态调整的字典数据集两部分构成。字典目录由新版文件后缀数组  $N_{suffixArray} [ ]$ 、新版文件名次数组  $N_{rankArray} [ ]$ 、老版文件后缀数组  $O_{suffixArray} [ ]$  组成。字典数据集初始为老版文件，在编码过程中动态地由已被编码的数据作为已知数据补充到初始字典数据集，进行迭代完善。

该算法在已知数据集与待编码数据集之间查找最长公共前缀，用于解决基于字典目录在字典数据集中查找可用数据段。该算法需解决查询和编码问题域，其方法具体如下：

查询采用基于老版文件后缀数组的二分查询算法，在老版文件中查找可用于构造新版本文件的片段，首先确定待

编码数据头部（字符串）位置在新版文件中的位置  $P$ ，然后找出老版文件字符串某个位置  $P_{old}$ ，使  $P$  位置的后缀和  $P_{old}$  位置的后缀包含长度最大的公共前缀，其长度为  $L_1$ 。编码采用在已编码的新版数据中查找用于构造编码数据的片段，找出新版本文件字符串某个位置  $P_{new}$ ，使新版文件字符串在  $P_{new}$  位置的后缀与其在  $P$  位置的后缀包含长度最大的公共前缀，其长度为  $L_2$ 。

$P_{new}$  的数值取值可按如下顺序选择：

$$N_{suffixArray} [N_{rankArray} [P] \pm 1], N_{suffixArray} [N_{rankArray} [P] \pm 2], N_{suffixArray} [N_{rankArray} [P] \pm 3] \dots$$

当  $L_1$  大于  $L_2$  时，可以返回获取位置信息  $P_{old}$ ，当  $L_1$  小于  $L_2$  时，可以返回获取位置信息： $P_{new}$  + 老版文件字符串长度。应用增量包的时空复杂度对于给定的  $P$  的值，查询的时间复杂度为  $O(\ln(n_{oldSize}))$ ，其中  $n_{oldSize}$  为老版文件字符串长度。编码的时间复杂度为  $O(C)$ ，其中  $C$  为小数值常数。该算法基于动态字典单次查询最长公共前缀的时间复杂度为  $O(\ln(n_{oldSize}) + C)$ ，整个增量包构造过程需多次执行该查询过程，若增量包构造过程中， $P$  的取值从 1 到  $n_{newSize}$ （新版文件字符串长度），则总查询时间复杂度为  $(n_{newSize} \cdot O(\ln(n_{oldSize}) + C))$ 。采用该算法，时间复杂度对于具备较强的计算和处理能力的服务端是可行的。同时，卫通终端作为客户端，构造基于增量包形成的新升级文件，其时空复杂度分别为  $O(n_{oldSize})$ 、 $O(n_{newSize} + n_{oldSize} + n_{deltaSize})$ ， $n_{deltaSize}$  为增量包尺寸。通过该算法查询到越多的公共数据段，增量包的尺寸将越小，卫通终端构造恢复升级文件效率越高。

### 3 实验验证和结语

在卫星星载设备或卫星终端的硬件仿真环境下的国产嵌入式 Reworks6.1 操作系统环境中部署升级客户端软件，在本地工控机部署服务端软件，进行升级效率仿真验证，本验证不考虑卫通信道效率的影响，仅通过实验数据验证对比增量包与整包升级的效率差异。

本方案通过增量更新机制实现软件快速升级的效果主要考虑增量升级的时间和压缩率指标，因此重点针对增量算法进行实际数据验证，选取 6 类不同尺寸和升级内容的软件

升级包样本分别进行测试。通过实验结论数据整体评估来看采用增量升级效率相较传统方法优势明显，增量升级方法为整包升级耗时约 15~52%。

表 1 样本数据测试增量包效率提升对比

样本	整包升级耗时	增量 / 整包耗时占比
1 号	386S	33.5%
2 号	1339S	52.3%
3 号	671S	39.6%
4 号	922S	37.1%
5 号	525S	44.7%
6 号	851S	15.4%

### 参考文献

- [1] 陈志龙, 倪桂强, 姜劲松, 罗健欣, 严英姿, 基于动态字典的增量更新算法, 解放军理工大学学报, 2015
- [2] 卿太杰, 基于动态词典的文本压缩研究 北京邮电大学, 2006
- [3] 魏爽, 王晓楠, 杨璟安, 基于动态字典学习的欠定盲语音重构算法. 计算机工程与设计, 2022
- [4] 杨明, 一种基于改进差别矩阵的核增量式更新算法. 计算机学报, 2006
- [5] 刘佳新, 严书亭, 贺春亮, 任家东, 基于序列树的增量式序列模式更新算法, 计算机工程与应用, 2011
- [6] 陶再平, 俞瑞钊, 序列模式增量式更新的快速算法, 计算机应用, 2006
- [7] 韦涌泉, 董振辉, 张红军, 一种基于文件的嵌入式星载软件在轨升级方法, 单片机与嵌入式系统应用, 2018
- [8] 李松涛, 许良刚, 林冬武, 何树生, 一种可软件在线升级的嵌入式系统及在线升级方法, 现代电子技术, 2011
- [9] 邓强强, 付士, 杨茜, 朱艳芳, 一种用于嵌入式软件的在线升级方法及系统, 测控技术, 2020
- [10] 杨光海, 彭晓乐, 张川, 公丕华, 远程升级控制系统嵌入式设备程序的设计方法, 工业控制计算机, 2016
- [11] 贺翔, 陈崇森, 基于WiFi的车载终端远程软件升级方法, 单片机与嵌入式系统应用, 2014
- [12] 张治安, 基于中间件对嵌入式设备远程升级的设计与实现, 吉林大学, 2020.

# Measures for Expanding Marketing Channels and Increasing Market Coverage in Telecommunications Enterprises

Yitao Ma

China Telecom Co., Ltd. Xi'an Branch, Xi'an, Shaanxi, 710004, China

## Abstract

Focusing on the common issues of hierarchical redundancy and lagging service capabilities in traditional marketing channel models of communication enterprises, this paper aims to comprehensively enhance service supply capabilities, better address the shortcomings of emerging scenario services such as industrial internet and smart healthcare, and meet their customized service demands. From the perspective of communication enterprises, the study systematically analyzes the underlying logic of marketing channel expansion and market coverage improvement in the new era, clarifying the inevitable driving forces for development. Subsequently, from a value dimension, it summarizes the strategic significance of marketing channel expansion and market coverage enhancement, further affirming their critical value in empowering enterprise growth and optimizing user experience. Finally, practical and actionable strategies are proposed to achieve these goals, aiming to safeguard the high-quality development of the communication industry through innovative breakthroughs in implementation pathways.

## Keywords

Telecommunications enterprises; Marketing channels; Market coverage

# 通信企业营销渠道拓展与市场覆盖率提升措施

马漪涛

中国电信股份有限公司西安分公司, 中国·陕西 西安 710004

## 摘要

聚焦通信企业传统营销渠道模式普遍存在的层级冗余、服务能力滞后问题,为全方位提升服务供给力,更好补齐工业互联网、智慧医疗等新型场景服务短板,满足其定制化服务需求。本文将基于通信企业视角,首先系统性分析新时代通信企业营销渠道拓展与市场覆盖率提升的底层逻辑,明确发展的必然动因。随后,从价值维度出发,总结营销渠道拓展与市场覆盖提升的战略意义,进一步肯定其在赋能企业增长、优化用户体验等方面的重要价值。最后,提出可落地较强的针对提升策略,旨在通过实践路径的创新突破,保驾护航通信行业高质量发展。

## 关键词

通信企业; 营销渠道; 市场覆盖率

## 1 引言

随着 5G-A 的商用落地以及“数字中国”等战略的深入推进,通信服务应用场景得以重塑,更在一定程度上重构了市场竞争的关键维度。此时,营销渠道作为连接企业级市场的重要枢纽,其覆盖广度以及服务深度,在帮助企业锁定用户价值、构建生态壁垒中的重要作用愈发突出。而市场覆盖率也逐渐成为企业精准匹配个性化需求的综合体现。在此背景下,为抓住发展红利,发挥主观能动性,自觉拓宽营销渠道、提升市场覆盖率已然成为通信企业不得不直面的战略命题。由此可见,积极对本课题进行研究具有重要价值。

【作者简介】马漪涛(1979-),男,回族,中国陕西西安人,本科,工程师,从事通信市场营销管理、通信基层党建研究。

## 2 新时代通信企业营销渠道拓展与市场覆盖率提升的底层逻辑

### 2.1 同质化竞争突围的必要之举

在通信行业市场化改革的持续深入下,除了三大基础运营商外,各类虚拟运营商异军突起,多元竞争格局得以形成。单纯仅依靠价格战拉动用户增长的传统模式难以为继。在此格局下,想要顺利在同质竞争中形成差异化优势,需将竞争重点转向服务价值升级上。而此时营销渠道与市场覆盖率的重要价值便愈发凸显,一方面,营销渠道作为价值传递的关键载体,其体系完善度势必会对价值传递质量以及效率造成决定性影响。另一方面,市场覆盖率提升则是实现服务价值规模化传递的关键保障。因此通信企业唯有通过全触点、全场景服务体系的全新构建,并同步式提升市场覆盖的广度与深度,才能精准触达更多潜在用户、匹配差异化需求,

最终顺利实现由流量收割向价值深耕的跨越式转型<sup>[1]</sup>。

## 2.2 技术迭代驱动的必然结果

一方面，5G技术高带宽、低时延特性，推动通信服务逐渐向工业互联网、智慧城市等领域延伸，催生了诸多新型场景化服务需求。这些新兴场景定制化程度高，传统营销渠道难以承载，无不倒逼通信企业需自觉拓宽专业化渠道。另一方面，AI等技术亦为渠道的持续升级提供了关键支撑。如AI智能客服能够突破时间空间以及地域限制，提升服务触达度。但不容忽视的是，虽然技术为渠道拓宽提供了诸多可能性，但也提出了更多要求。因此通信企业也要积极作为，主动适应技术的变革趋势，以渠道拓宽与升级为抓手，借助技术优势提升市场覆盖布局与质量，才能够从根本上规避被行业淘汰的风险。

## 2.3 用户需求变革的必然响应

随着居民数字素养的持续增加，用户对通信服务的需求发生明显变革。立足于用户结构维度来看，需求差异化十分明显。年轻用户群体会更加青睐于便捷且高效的线上服务渠道，对定制套餐等服务形式需求十分强烈。而中老年群体则更依赖于线下服务模式，注重服务稳定与安全。再立足于服务场景维度，通信需求也已经逐步深入到工作、娱乐、医疗等多场景领域。职业人士需要稳定在线通信支撑。娱乐爱好者追求高带宽网络体验。医疗群体则需要便捷紧急呼叫服务。这些场景需求均具有十分典型的专属化特征，因此对渠道专业适配能力提出了更为严苛的要求。面对上述全方位变革，传统营销渠道服务半径有限、场景适配不足等问题愈发凸显。在此背景下通信企业作出改变，以响应用户需求变革为导向，拓展营销渠道，并持续提升市场覆盖率。

## 3 通信企业营销渠道拓展与市场覆盖提升的价值理路

### 3.1 有利于给企业增长赋能

通信企业渠道拓宽以及市场覆盖率的提升属于完成价值主动创造、优化盈利能力的主动战略选择，在赋能自身增长方面有着无可替代的价值。一方面，借助营销渠道拓宽，能够大幅度提升市场覆盖范围，挖掘潜在用户资源，助力市场份额提升，形成理想的规模效应。另一方面，通过渠道模式的创新升级，亦能够最大程度发挥深度运营优势，助力单用户价值得到肉眼可见的提升<sup>[2]</sup>。例如河南移动所推出的“Try&Buy”营销模式，其主攻方向便是满足高价值用户市场需求，为其提供个性化套餐，一经上线，就取得了远超预期的成绩，DOU、ARPU获得了同步提升。

总而言之，在渠道拓展提规模+模式创新增价值等双重驱动逻辑下，不仅企业运营无效投入得以顺利降低，而且还能够最大程度释放营销价值创造能力，为通信企业持续盈利奠定扎实基础，可落地价值十分显著。

### 3.2 有利于用户体验优化

营销渠道拓宽以及市场覆盖率的提升，价值还体现在

可凭借服务触点的优化，保障服务能力更强，助力用户体验持续升级上。传统营销模式下，用户仅能被动地接受。而在全触点、全周期新渠道拓宽体系的构建下，便可高效实现由被动服务向主动感知的价值转型。例如通过线上渠道拓展，用户能够全天候办理通信服务。通过线下渠道，用户也能够感受到面对面专业服务的贴心，最大程度解决操作难题，保障服务满意度更高。

## 4 基于有效性提升的营销渠道拓展与市场覆盖率提升措施

实际上，无论是营销渠道拓宽还是市场覆盖率提升等工作，绝非简单的规模扩张，其核心目标均是精准施策，保障落地有效性更强，真正实现与企业可持续战略发展预期的有效匹配。因此，想要真正做到落地见效，需自觉摒弃传统发展误区，通过渠道形态、覆盖维度、运营能力、保障体系等多个核心层面齐发力，构建全链条提升体系。

### 4.1 重视“线上+线下+行业专属”全渠道融合体系构建

传统营销渠道模式线上、线下以及行业专属常割裂。面对此问题，通信企业需自觉打破渠道边界，大力实现全渠道融合体系精准构建。相信在多场景的统筹兼顾下，势必能够助推市场覆盖率较初期相比有着十分明显的提升。

首先，要重视线上渠道的智能升级，正视AI、大数据价值，通过技术的深度赋能，打造智能服务中枢，实现线上渠道智慧服务，真正助力市场覆盖率持续攀升。例如可升级企业APP，整合产品展示、业务办理、问题报修等功能，并引入AI客服实现24h全天候精准响应，确保用户咨询问题能够获得及时响应。又例如可利用大数据深度挖掘算法，持续分析用户行为偏好，定制个性化套餐，通过增值服务的推送，保障用户黏性更强。

其次，还要重视线下渠道的场景重构，尽可能推动线下渠道向多层次场景化体系完成跨越转型。具体而言，在城市核心商圈打造，含“智”量较高的智慧生活体验中心。搭建智慧家居、云游戏等场景化十足的体验区，让用户能够沉浸式感受通信技术的应用价值与魅力。在农村等偏远地区则新建服务点，提供宽带安装、话费线下缴纳等基础服务，解决偏远用户服务触达难题。

最后，重视行业渠道的专业拓展也必不可少，面对新兴行业场景如工业互联网、智慧医疗组建专业化程度较高的行业渠道团队，构建多方渠道体系。其中，工业互联网领域，要快速与工业设备厂商、系统集成商联动，形成良性交流格局，组建广泛涵盖工业网络规划、运维保障等成熟服务能力的渠道团队，为“5G+工业互联网”集约化解决方案生成注入智慧基因；智慧医疗领域，则要积极与医院、医疗设备企业达成良好共赢的合作关系，有意识地提供远程会诊等通信保障服务真正确保能凭借服务与行业场景的高度融合，最大程度挖掘市场增量价值，为市场覆盖率的有效提升持续造势<sup>[3]</sup>。

## 4.2 推动“下沉市场+新兴场景”全域深耕覆盖工作落地

市场覆盖率的持续提升并非简单的盲目扩张，而是需要充分聚焦增量市场，以市场覆盖质量以及效益双赢为抓手，大力促动全域覆盖格局形成。具体而言，一方面要有意识将重点放在下沉市场精细化深耕等工作上。县域以及农村等市场作为通信企业关键增量市场，其普遍具有地域广阔、人员分散等特征，传统粗放式营销渠道拓展模式可能难以顺利为继。因此需充分聚焦特点，大力采用差异化策略，助推下沉市场工作持续深耕。策略一：可加强与县域政府、农村村委会的合作，依托本土化资源，发展本地专用渠道合作伙伴，保障渠道本地化服务供给能力更强。策略二：可充分聚焦用户需求特点，推出高性价比通信套餐以及具体产品，通过一对一营销服务，化解用户信任危机，确保用户转化率更为理想。

另一方面，还要有意识关注新型场景的全方位战略渗透，真正做到新兴场景这一通信市场新增长级的统筹兼顾。具体而言，通信企业要主动作为，化被动为主动，快速对接新兴场景需求，通过指定营销渠道的拓展，为全方位渗透目标的顺利落地造势赋能。如针对智能家居场景，在售楼处以及家电卖场设置沉浸式体验区，并大力推广通信服务与智慧家居联合套餐。又如针对智慧办公场景，与服务平台合作，为其提供办公通信解决方案在线提供服务窗口，实现问题的一对一解决。总而言之，相信在新兴场景渠道的持续渗透作用下，势必能够顺利实现由个人用户向多维度用户群体覆盖的跨越转型，最大化挖掘新兴市场价值，给通信企业的持续性发展注入鲜活动力。

## 4.3 打造“技术驱动+精准赋能”的渠道运营体系

作为助推运营能力升级的重要策略，以营造技术驱动+精准赋能双赢格局为工作主线，全新打造渠道运营体系也势在必行。相信随着高品质渠道运营体系支撑作用的有效发挥，势必会助推营销渠道拓展以及市场覆盖率提升的成效更为显著。

其中，针对技术驱动维度，构建技术驱动精准运营体系，需积极引入大数据分析平台，利用大数据成熟算法，整合CRM、ERP、SCM等系统相关数据资源内容，构建渠道运营数据集约中心。紧接着，再借助数据挖掘算法，快速实现用户需求渠道表现以及未来市场趋势的有效洞察，为后续

能够“因地制宜”完成营销方案制定提供可靠内容支撑。

针对精准赋能维度，考虑到渠道合作伙伴能力也直接决定着渠道服务质量与效率。因而，通信企业也要重视分级分类渠道赋能策略的构建，将合作伙伴合理分为三级，分别是①战略级②核心级③授权级。顺利完成分级后，在依据差异化赋能逻辑，完成整体的发展部署，从根本上保障渠道专属服务质量更佳。

与此同时，若条件允许的话，还要搭建合作伙伴深度赋能中心，提供产品知识、运营管理等更为系统化的培训服务，确保能够通过系列培训活动保障合作伙伴综合能力能够得到直线攀升，补齐发展短板，从根本上避免木桶效应出现。

## 4.4 夯实组织、人才多维度基础保障

对于通信企业而言，营销渠道的拓展以及市场覆盖率的提升属于长期工程，因此需要健全且完善的保障体系支撑，通过组织架构和人才培养等多方面工作的齐抓共管，助推“工程”稳健推进。其中组织架构，要自觉突破传统部门壁垒，打破交流孤岛，通过独立性较强的全渠道管理部门成立，真正做到线上、线下、行业渠道拓展与运营工作的统筹协调。不会因管理层级过多，而致使最终的渠道响应速度明显滞后。针对人才队伍建设工作，要重视内培外引。一方面加强对内部员工的培训，持续夯实其数字化运营、场景化营销以及精准化服务能力。另一方面与高校联动，从源头上引入人才，为后续工作的稳健推进持续注入新鲜血液。

结论：综上所述，数字经济深度发展的当下，通信企业化被动为主动，自觉拓宽营销渠道助力市场覆盖率提升已然成为推动可持续战略目标顺利落地的大势所趋之举。而本文以服务有效性提升为工作主线，而提出的针对性营销渠道拓宽与市场覆盖率提升策略，便可帮助通信企业快速突破传统模式粗放式扩张掣肘，真正通过渠道形态创新、覆盖维度拓展、运营能力提升、保障体系构建的多方面齐抓共管，构建新型全面发展网，助力持续发展目标落地。

## 参考文献

- [1] 马冲.通信企业市场营销的渠道建设与管理扩展[J].中文科技期刊数据库(全文版)经济管理,2025(8):078-081.
- [2] 沈小洪.企业管理中营销渠道拓展与市场覆盖率提高的路径研究[J].现代商业研究,2025,(02):118-120.
- [3] 张双丽.通信企业市场营销的渠道建设与管理[J].中国市场,2021(24):59-60.

# Research and Practice of Cybersecurity Attack and Defense Technologies

Zhe Li

Fujian Mindun Network Security Co., Ltd., Fuzhou, Fujian, 350001, China

## Abstract

As a critical node in the cybersecurity assurance system, the classified protection assessment serves as a vital tool for identifying system security risks and evaluating the effectiveness of defensive measures. This paper, based on practical scenarios of classified protection assessments, focuses on typical categories and core methods of current cyber attacks. It provides an in-depth analysis of the underlying logic of attack behaviors and their threat pathways to information systems of varying classification levels. By incorporating real-world examples from assessment practices, the study explores targeted strategies for building and implementing a defense technical system that aligns with classified protection requirements. Special emphasis is placed on methods for validating the effectiveness of defensive measures and optimizing their direction. The findings offer practical references tailored to business realities, facilitating the efficient execution of classified protection assessments and the steady enhancement of information system security defenses, thereby helping information systems meet the corresponding security protection requirements.

## Keywords

Level Protection Assessment; Cybersecurity Attacks; Defense Technologies; Security Protection; Practical Implementation

## 网络安全攻击与防御技术研究与实践

李哲

福建闽盾网络安全有限公司, 中国·福建 福州 350001

## 摘要

等级保护测评作为网络安全保障体系的关键节点,是辨别系统安全隐患、检验防御措施有效性的重要手段。本文依托等级保护测评实操场景,聚焦当前网络安全攻击的典型类别与核心方式,深刻解析攻击行为的底层逻辑与对不同等级信息系统的威胁路径,结合测评工作中的实际事例,有针对性地探究适配等级保护要求的防御技术体系搭建与落地策略,着重讲述防御措施的有效性验证办法与优化走向,为等级保护测评工作的高效开展、信息系统安全防护能力的稳步提升,提供贴合业务实际的实践参照,助力信息系统符合对应等级的安全保护要求。

## 关键词

等级保护测评; 网络安全攻击; 防御技术; 安全防护; 实操落地

## 1 引言

随着数字化转型的深入,信息系统已然成为各行业运作的核心载体,其安全稳定直接关系业务连续性与数据安全。等级保护测评作为我国网络安全保障的基础性制度,借助分级分类保护的准则,给不同重要程度的信息系统划定安全防护底线<sup>[1]</sup>。当下,网络攻击手段不断更新升级,攻击路径更具隐蔽特性与针对性,给等级保护测评工作带来了新的难题。鉴于此,从等级保护测评角度出发,深入研究网络安全攻击的核心特点与防御技术的实操重点,明确攻击与防御的动态博弈联系,对提升测评工作精准度、增强信息系统安全防护能力具有重要现实意义。

【作者简介】李哲(1991-),男,中国福建闽侯人,本科,工程师,从事计算机科学与技术、网络安全研究。

## 2 等级保护测评下网络安全攻击的典型类型与核心特征

### 2.1 恶意代码攻击

恶意代码攻击是各等级信息系统均高频面对的攻击类型,亦是等级保护测评中重点核查的风险点。此类攻击通过植入病毒、木马、勒索软件等恶意程序,达成对系统的控制、数据窃取或破坏。和传统泛化攻击有别,当前恶意代码更具针对性,部分攻击团伙会针对特定行业的信息系统定制恶意代码,躲避常规杀毒软件的检测<sup>[2]</sup>。在测评过程中察觉,低等级信息系统多面临常规病毒、蠕虫攻击,主要通过U盘、邮件附件等途径传播,攻击目的以破坏系统正常运行为主;高等级信息系统则容易遭遇定制化木马与勒索软件攻击,攻击者通过社工渗透获取系统入口,植入恶意代码之后控制核心业务模块,以加密数据索要赎金为主要目的,对系统的破

坏性质极强。除此之外，恶意代码的持久化驻留能力明显提升，部分恶意程序会修改系统注册表、创建隐藏进程，即便系统重启也难以彻底清除，给测评过程中的隐患排查带来了挑战<sup>[3]</sup>。

## 2.2 网络渗透攻击

网络渗透攻击为攻击者冲破系统边界防护、非授权访问内部资源的核心方式，也是等级保护测评里对边界安全、访问管控有效性验证的关键切入点。此类攻击遵循“侦察—扫描—利用—提权—维持”的完整轨迹，实操特性极强。在侦察时期，攻击者借助端口扫描、信息搜集工具，获取目标系统的IP地址区段、开放端口、操作系统版本等基础信息，为后续攻击进行准备；在扫描时期则将焦点置于系统漏洞与弱口令，针对测评中常见的未修复高危漏洞、默认密码未调整、密码复杂度不足等状况实施精确突破；利用时期通过漏洞利用工具获取系统低权限访问权，再经由提权操作获取管理员权限，最终达成对系统核心资源的掌控。在高等级信息系统测评中，还察觉攻击者会采用“旁路渗透”策略，绕开核心防护装置，通过办公终端、无线网络等薄弱节点切入内部网络，此类攻击轨迹隐蔽性强，易于绕过常规边界防护举措，给测评带来了更大难题<sup>[4]</sup>。

## 2.3 数据泄露攻击

数据作为信息系统的核心资产，是攻击者的主要目标之一，数据泄露攻击也成为等级保护测评中数据安全核查的核心内容。此类攻击的核心意图是窃取系统中的敏感数据，包含用户信息、业务数据、核心机密等，攻击手段呈现出“技术+社工”融合的特征。技术层面，攻击者通过SQL注入、XSS跨站脚本等途径，利用系统数据交互接口的漏洞，非法读取、下载敏感数据；社工层面，通过钓鱼邮件、伪基站短信等方式，引诱系统管理员或普通用户泄露账号密码、验证码等关键信息，进而登录系统获取数据。

# 3 适配等级保护测评要求的防御技术体系搭建与实操要点

## 3.1 边界防护技术：筑牢系统安全首道防线

边界防护是等级保护测评中边界安全核查的重点，其核心目的是阻断非法访问，过滤恶意流量，保障网络边界的可操控性。针对不同等级信息系统，边界防护技术的配置需体现差异化。低等级信息系统可运用防火墙、入侵检测系统(IDS)搭建基础边界防护，防火墙需严格配置访问控制策略，仅开放业务必需的端口与协议，禁用不必要的服务，防止出现“宽进宽出”的情形；IDS则用于实时监测边界流量，及对异常访问行为发出告警。高等级信息系统需在基础防护之上，增设入侵防御系统(IPS)、下一代防火墙(NGFW)，实现“检测—防御—阻断”一体化管控<sup>[5]</sup>。

## 3.2 终端防护技术：增强末端安全防护能力

终端作为信息系统的末端节点，是恶意代码攻击、渗透攻击的主要入口，终端防护成效径直作用于体系整体安

全，亦是等级保护测评中终端安全核查的关键内容。终端防护技术需聚焦“准入把控—实时防护—应急回应”全流程。准入把控方面，借助终端准入体系，对接入网络的终端开展身份验证与安全状态核查，仅准许契合安全要求(像安装杀毒软件、系统补丁完备)的终端接入，根绝不安全终端接入产生的风险；实时防护方面，布置终端安全管理体系，整合杀毒、恶意代码拦截、主机入侵检测(HIDS)等功能，定时更新病毒库与恶意代码特征库，对终端的文件操作、进程运行、网络连接等行为实施实时监测，及时处理异常行为。

## 3.3 数据防护技术：守住核心资产安全底线

数据防护是等级保护测评中数据安全与备份恢复核查的核心，需围绕数据“存储—传输—运用—销毁”全生命周期搭建防护架构，保障数据的机密性、完整性与可用性。存储层面，针对敏感数据运用加密存储技术，低等级信息体系可采用文件加密、数据库加密等途径，高等级信息体系需采用透明加密技术，在不干扰业务运用的前提下，达成数据自动加密存储，同时配备访问权限管控，细化不同角色的数据访问范畴；传输层面，对数据传输过程采用SSL/TLS等加密协议，规避数据在传输过程中被监听、篡改，特别是跨网络传输的敏感数据，必须经由加密通道传输；在备份恢复层面，依照等级保护测评要求，制定完善的数据备份策略，定时开展全量备份与增量备份，备份数据需存储于安全的离线介质或异地备份中心，同时定时开展备份恢复演练，验证备份数据的完整性与可用性，确保体系遭遇攻击后能迅速恢复数据与业务。

## 3.4 访问控制技术：构建精细化权限管理架构

访问控制是防范未授权访问、数据泄露的关键是技术，亦是等级保护测评中访问控制核查的核心要求，核心准则是“最小权限”与“权责对等”。低等级信息体系可采用基于角色的访问控制(RBAC)模型，依据用户的岗位职责分配体系权限，确保用户仅具备完成工作所需的最小权限，杜绝超权限访问；同时严格施行密码策略，要求密码具备足够复杂度，定期更换，禁止使用默认密码、弱密码。高等级信息体系需于RBAC模型架构之上，构建多因素认证(MFA)、权限审计等制度体系，多因素认证可联合密码设置、动态验证码生成、生物特征识别等形式手段，提升身份认证环节的安全系数，规避单一认证模式遭到破解；权限审计则需周期性对用户权限实施核查工作，清除冗余权限配置、休眠账号数据，对权限变动情形、超权限访问行为开展实时记录与预警操作。测评实践过程当中，需着重验证权限分配的合理程度、身份认证的有效状态，核查权限审计日志的完整情况，保障访问活动具备可追溯性、可管可控性。

# 4 等级保护测评范畴内防御技术有效性验证及优化策略

## 4.1 防御技术有效性验证手段运用

等级保护测评实操场景下，防御技术有效性验证需采

取“静态核查结合动态测试”的复合方式。静态核查主要围绕防御设备的参数配置、策略规则、日志记录等实施合规性检查,确认防护举措是否契合相应等级的测评规范,是否存在配置层面的漏洞隐患与冗余策略内容。动态测试则通过模拟攻击的技术途径,验证防御技术的实际防护效能,诸如模拟恶意代码传输过程、漏洞利用场景、弱口令破解行为等攻击活动,检测防火墙设备、IPS系统、终端防护软件等是否及时阻断攻击进程、发出预警信息;针对数据防护技术体系,可模拟未授权访问情形、数据窃取行为,验证加密技术应用、访问控制机制的有效程度。同时,结合系统日常运行阶段的安全事件记录,追溯防御技术的响应效果表现,评估预警信息的准确水平、处置工作的及时程度,判断防御技术能否适配实际攻击场景需求。

#### 4.2 防御策略优化方向指引

基于测评流程中发现的问题事项,防御策略优化需聚焦三个核心方向。其一为贴合业务需求维度优化防护粒度标准,部分信息系统在部署防御技术期间,过度追求防护强度而影响业务正常运行,需结合业务应用场景调整防护策略内容,在安全保障与便捷操作之间寻求平衡状态,例如针对核心业务模块强化防护力度,对非核心功能模块采用适度防护措施。其二为针对攻击手段演变优化防御技术体系,伴随攻击手段的持续升级,传统防御技术可能逐步丧失效能,需定期跟踪最新攻击趋势动态,更新防御设备特征库数据、漏洞库信息,升级防护软件版本程序,在必要时引入新型防御技术手段,弥补防护体系短板弱项。其三为强化人员安全意识与操作规范建设,多数安全事件的发生成因与人员操作失当存在关联,需定期组织安全培训活动,提升管理员群体与普通用户的安全意识水平,规范操作流程环节,避免因人为失误因素导致防御体系遭受突破,同时建立健全安全事件应急处置预案体系,定期开展实战演练活动,提升应对攻击行为的快速响应能力。

## 5 结论

网络安全攻击与防御的动态博弈构成等级保护测评事项的核心背景情况,攻击办法的迭代升级给防御技术的针对性及实操性设定更高规格要求。以等级保护测评角度作为出发点,构造适配于不同等级信息系统的防御技术体系架构,需要紧紧扣住测评标准内容,从边界实施防护、终端开展防护、数据进行防护、访问加以控制等核心维度落地防护相关措施,同时借助“静态核查+动态测试”的形式验证防御实际效果,持续不断优化防御策略规划。于实操流程当中,需要兼顾合规性与实用性,防止出现形式化防护现象,切实筑牢信息系统安全防护防线。伴随数字化技术的不停发展,网络攻击将会呈现出更为复杂的态势状况,需要持续深入深化攻击与防御技术方面的研究,结合等级保护测评工作的实践经验内容,推动防御技术体系的迭代升级进程,为信息系统安全稳定运行态势提供有力保障支持。

#### 参考文献

- [1] 成翔,匡苗苗.基于相似性度量的APT攻击意图识别方法[J].扬州大学学报(自然科学版),1-10.
- [2] 许亚美,王子威,王婵飞.双阶段结合流形优化的调制识别网络对抗攻击[J].西安电子科技大学学报,1-14.
- [3] 蔡秋富.基于流量异常特征的网络攻击行为检测方法研究[J].电脑编程技巧与维护,2025,(12):164-166.
- [4] 朱志猛.基于门控循环单元的信息安全态势感知系统设计[J].计算技术与自动化,2025,44(04):154-159.
- [5] 王梦,张玲,张位,冯毓,刘赞,高吉宏.大语言模型驱动的认知型蜜罐技术综述[J].人工智能,1-9.
- [6] 汤永金,王嘉,韩海,肖磊.人工智能技术在网络攻击检测与防御中的应用研究[J].通信与信息技术,2025,(S1):89-92.
- [7] 张煜炫,莫宇铖.基于强化学习的虚假数据注入攻击下电力系统安全性研究[J].电气开关,2025,63(06):84-87+91.

# Application Research of AI in Personalized Marketing of Communication Operation

Binbin Guo

China Mobile Communications Group Zhejiang Co., Ltd. Taizhou Branch, Taizhou, Zhejiang, 318000, China

## Abstract

Against the backdrop of the mobile communication market entering a phase of stock competition and accelerated convergence services, operators' marketing has shifted from simply selling packages to managing relationships, experiences, and value. Based on the frontline operational practices of China's communication operators, this paper outlines the business connotation and key aspects of personalized marketing, and discusses its actionable paths in user acquisition, activation, stock retention and value enhancement, and loss control by integrating AI capabilities such as user profiling, propensity prediction, touchpoint orchestration, and content generation. The study further incorporates operators' differentiated value enhancement strategies for typical customers with unsatisfied data needs or limited broadband speeds—such as “slight price increases and significant capacity expansion”—into the analytical framework, revealing the critical role of AI in precisely identifying customer bottlenecks and matching optimal upgrade solutions. The research shows that AI can transform fragmented data into actionable customer action lists and meet product demands through home-level dimensions like smart locks and FTTR, significantly improving reach efficiency and resource matching accuracy, effectively integrating computing power and information services into customers' daily lives.

## Keywords

AI; telecom operators; personalized marketing; applications; value; scenarios; strategies

## AI 在通信运营的个性化营销中应用研究

郭彬彬

中国移动通信集团浙江有限公司台州分公司, 中国·浙江 台州 318000

## 摘要

在移动通信市场进入存量竞争与融合业务加速的背景下, 运营商的营销从单纯销售套餐转向经营关系、体验与价值。本文立足中国通信运营的一线经营实践, 梳理个性化营销的业务内涵与关键环节, 结合用户画像、倾向预测、触点编排与内容生成等AI能力, 讨论其在拉新、促活、存量保有与提值、控损中的可落地路径。研究进一步将运营商对流量不满足、宽带速率受限等典型客户的“小幅加价、显著扩容”差异化提值策略纳入分析框架, 揭示AI在精细识别客户瓶颈与匹配最优升级方案中的关键作用。研究表明, AI能够把分散数据转化为可执行的客户动作清单, 并通过智能门锁、FTTR等家庭维度来满足客户的产品需求, 显著提升触达效率与资源匹配精度, 切实把算力以及信息服务融入到客户生活当中。

## 关键词

AI; 通信运营; 个性化营销; 应用; 价值; 场景; 策略

## 1 引言

5G普及与业务云化使用户触点高度碎片化, 渠道从营业厅扩展到App、短信、外呼、视频号与第三方平台, 传统经验法则难以同时兼顾规模与精细度。与此同时, 资费监管趋严、同质化促销频繁, 营销投入的边际回报持续下降, 迫使运营商以数据驱动的方式重建客户经营链路。文章通过查阅相关文献资料以及结合自身实践情况下, 围绕通信运营个性化营销的定义、AI赋能价值与实施策略展开, 重点回答三

个问题: 如何识别可转化人群, 如何在在网期提升价值, 如何在风险窗口抑制流失, 并给出可操作的流程与指标口径<sup>[1]</sup>。

## 2 通信运营中个性化营销概述

通信运营中的个性化营销, 是以客户全量关系为对象、以触点精细运营为手段的差异化供给过程, 其核心不在于单次成交, 而在于把用户需求、网络体验、产品能力与服务资源按个体进行匹配与编排。中国运营商在存量经营阶段通常以细分市场为底座, 将个人市场与家庭市场等场景划分为可管理单元, 并以客户生命周期为主线设置拉新、融合、续约、增值与退网预防等动作包。实施上依赖统一客户标识、标签体系与画像模型, 结合渠道规则完成目标圈选、频控与触达, 同时通过工单、投诉、质检与终端信息回流, 校准画像的时

【作者简介】郭彬彬(1983-), 男, 硕士, 工程师, 从事大数据和AI的市场应用研究。

效性与可解释口径,使营销成为可复盘的运营流程而非临时活动。在指标层面,常以 ARPU、在网时长、融合渗透率与触达转化率作为主要衡量,并把客服交互与网络质差点位纳入同一经营看板,避免只看销量忽视体验波动带来的二次流失。

### 3 AI 在通信运营的个性化营销中应用价值

AI 在通信运营个性化营销中的价值,首先体现在把海量行为数据转化为可用的分群、预测与行动结果。通过特征工程与模型训练,运营商能够在入网、迁转、投诉、欠费等节点输出购买倾向与风险概率,替代以套餐档位或网龄做粗分的做法,从而减少无效触达与资源浪费<sup>[2]</sup>。其次, AI 可将网络侧体验指标与业务侧消费数据联动,识别因覆盖、拥塞、装维时长等造成的体验落差,并据此调整触达时机与补救动作,把营销与服务纳入同一闭环。再次, AI 驱动的触点编排可在统一频控下选择短信、App、外呼与厅店等不同渠道,并把转化线索回写为可跟进的名单与话术要点,提升一线执行的一致性。最后,生成式能力可辅助产出多版本文案与权益组合开展快速试验,但落地必须同步建设数据最小化、脱敏、可审计与用户选择机制,确保画像使用边界清晰且可退出。在收入结构上, AI 使权益从单一语音流量扩展到视频、云、权益包与终端分期等组合化供给,通过对响应弹性与成本的估计,支撑差异化让利而不必一口价普降。对政企与行业客户, AI 可基于商机线索、合同到期与用量异常生成续约提醒与增购建议,形成预测、触达、跟进与复盘的运营节拍。

## 4 AI 在通信运营的个性化营销中应用的策略

### 4.1 基于 AI 的新 C 和 H 客户挖掘营销

为推动新客挖掘由粗放拉新转为可交付、可控扰的精细化通信运营,可将新 C 与新 H 策略拆为四个连续动作。第一,新 C 获取以弱信号合规整合为底座,围绕入网地理网格、终端价位段、线上浏览与咨询链路等形成去标识特征集,按必要性原则明确用途边界与留存周期,并采用相似人群扩展与样本去偏输出高意向候选池,随后以校园、商圈、通勤走廊等场景做二次分层,叠加渠道可达性、单客获客成本与响应时延约束,形成可投放清单与排期规则,避免以号段或年龄作单变量筛选造成误触达。第二,新 H 侧先把装维与覆盖能力前置入模,在楼栋单元粒度汇总可装机端口余量、历史装机时长、退单改约原因与到门失败标记等,生成可交付评分并拦截高体验风险单元,再结合家庭同址同网关系、终端数量与内容偏好进行宽带、FTTR 与融合权益组合匹配,同时将装维班组负荷与可预约窗口作为硬约束,保证推荐方案与可安装时段一致。第三,触达执行采用两段式闭环,第一段以低打扰的权益体验券或提速试用采集响应与拒绝信号,并以客户层、渠道层、团队层叠加的统一频控阈值控制触达密度,外呼限定企业官方外呼号码并在办理前发送

确认短信完成二次确认,第二段依据响应强度与安装窗口自动生成专属报价、线上签约与预约链路,同时到厅推荐与外呼纳入同一频控与黑白名单,避免多团队重复追访。第四,营业厅侧将 AI 名单拆解为可核验提示语并限定为业务事实,例如近期异网携转咨询、同址多终端活跃或宽带到期等,导购在受理页同步记录触达动作与失败原因并结构化回填,运营侧按周刷新训练样本并维护规则白名单与排除清单,同时对活动入口、资费确认、受理成功、派单与装机完成建立漏斗监控与异常告警,确保名单、触达与交付在同一闭环内运行<sup>[3]</sup>。

### 4.2 基于 AI 的用户保有和价值提升运营策略

面向存量竞争下的公众市场,通信运营中应以 AI 把保有与增值动作嵌入可执行的客户旅程。第一,构建价值跃迁清单时以近 90 天用量结构、权益领取、合约到期、终端分期、支付方式与家庭同网关系为主变量,在省份统一口径并下沉网格,采用倾向评分输出升级、加购、融合的排序,同时把可替代产品及其历史转化率纳入对照集,用触达频控与月度预算、让利上限共同约束,避免单一产品密集推送并保持口径一致。第二,价值提升窗口识别从价格可接受区间与权益敏感点入手,结合内容消费、出行触点与多终端连接形成场景簇,对重视频人群优先组合会员与定向流量,对高频出行人群优先配置漫游包、副卡与家庭共享,对多终端家庭引导组网、提速与 FTTR 类服务,触达前自动校验账单异常、欠费风险、投诉未结与服务中断记录,仅对人口干净用户放行入触达池,并将风险原因回写为暂缓规则以便复核。第三,执行层实施自动化优先、人工兜底组织,模型触发后先在 App 或小程序展示权益对比卡并支持一键办理,未响应再进入智慧客服与专席外呼,可派单至厅店跟进,外呼核验点、话术和办理路径在统一工单中固化,工单串联名单分派、回访结果、受理时长与装维预约,触达频次用上限与冷却期约束并以自助与人工转化差异做周复盘。第四,评估采用分层随机实验,将目标人群拆分对照组与试验组,按周跟踪净增收、复购率、退订率与工单增量并设投诉率护栏,同时监测特征分布与命中率识别漂移并版本化再训练,必要时按周度回滚,对高风险客群启用规则兜底并留存授权记录与算法说明以满足合规要求。

### 4.3 基于 AI 的用户挽留控损运营策略

通信运营中为把挽留控损真正嵌入个性化营销链路,需将识别、处置与复盘做成可量化的标准作业流。第一,预警前移以意向形成期为边界,在合规授权下汇聚携转查询、异网比价、套餐比选深度、近端语音与数据使用突变、夜间活跃、终端换机与分期到期、投诉与工单密度等信号,按日滚动构造 7 天与 14 天窗口特征并做缺失与异常校正,再与用户画像标签库联动输出流失概率、风险等级与主因分解,原因贡献度同步转写为座席提示字段以支持差异化话术生成,标签口径宜以消费、通信、产品使用和服务交互为主并

保持可追溯编码。第二，干预编排按主因建立三类处置队列并设置准入门槛与豁免清单，体验不满优先走网络侧闭环，自动派发质差小区核查、基站参数整定与装维预约并同步小额补偿权益，资费敏感采用阶梯让利加有效期校验并校核合约期与叠加冲突，在掌厅生成权益对比卡引导自助受理，服务摩擦由专席回访并以知识库流程导航一次性补齐材料与销单，队列需配置触达频控、渠道优先级与失败接续策略以保证一次沟通落到受理。第三，成本外溢治理通过干预优化器实现，在同一用户上对优惠金额、工单成本与预计留存收入做净贡献测算，采用先规则过滤再模型排序的组合策略，限定高价值用户可用权益池与触发次数，设置负面条件如欠费、在途投诉未结与近期已补偿，对低净贡献样本不投放或仅投放非现金权益，并对判定不可挽留的客群提前触发账单结清、号码保留与携转指引，形成服务型收尾。第四，闭环复盘按接通率、受理率、7日留存与30日复购分层监测，要求每次触发因子、话术版本、权益用量、工单耗时与最终去向写入统一数据集，月度复核误报率、漏报率与阈值漂移并回写策略阈值，采用灰度发布和对照组评估迭代规则与样本权重，同时将渠道成本、触达时延与客户拒接偏好纳入监控面板，触发异常即暂停相关策略<sup>[4]</sup>。

#### 4.4 基于 AI 的客户需求的产 品营销

围绕通信运营的存量竞争，通信运营中产品营销应由按档位推送转为按意图供给，以 AI 把需求信号、方案生成、触达执行与体验回收串成统一链路。其一，需求识别以近端行为序列为主，按分钟级聚合流量峰值、应用类型切换、夜间活跃、清晰度频繁调档、多设备并发与上行突增等特征，并补入套餐查询深度、Wi-Fi 测速异常等弱信号，结合小区负荷、终端制式与家庭网关在网状态做窗口化判别，区分低时延诉求、上行带宽诉求与家庭组网诉求，同时限定信号使用范围并显式告知处理规则与留存期限。其二，产品映射先建能力包字典，将提速包、上行加速、低时延保障、家庭 Wi-Fi 优化、云盘会员与视频定向等条目用统一口径描述适用条件、叠加冲突、权益库存与交付门槛，候选生成采用硬规则先过滤合约期、欠费、终端不兼容与资费不匹配，再

用排序模型在合格候选中选出 2 到 3 个组合，并生成可核验的解释点，如预计月节省、速率提升区间或断流风险下降幅度，供营业厅与线上一致引用。其三，渠道投放按场景分层，App 与小程序以权益对比卡片呈现并在开通前校验叠加冲突与账单异常，营业厅输出诊断问答树与方案路径提示以约束导购口径，外呼仅保留三句核心陈述并同步生成异议处理脚本与授权核验提示，在生成话术前锁定权益条款与有效期，对高频触达客户启用限频与免打扰窗，并把导购终端的推荐提示与受理流程打通。其四，效果回收细化到产品特征级，除转化外同步监测开通后七日使用率、降档或退订触发、投诉工单增量，退订原因在 App 内以选项化方式采集并回写到特征库，采用留出对照组与分渠道归因识别过度让利与误匹配来源，将负向原因沉淀为禁投清单与规则回滚条件，并保留模型版本、特征来源与营销记录<sup>[5]</sup>。

## 5 结语

综上所述，通信运营的个性化营销正在从规则驱动走向模型驱动与规则护栏并存。面向拉新、保有、控损与产品经营，AI 提供了更细粒度的人群识别、更及时的触点选择与更稳定的执行闭环，但其效果取决于数据口径一致、组织协同与合规边界清晰三项基础工程。后续研究可进一步量化不同触点组合的长期贡献，并探索在个人信息保护要求下实现更透明的画像解释与用户授权管理。

## 参考文献

- [1] 庞文英.融合AI与人文特质的个性化营销策略研究[J].国际品牌观察, 2023(9):34-42.
- [2] 王艺潼.AI背景下企业营销模式创新研究[J].现代营销(上), 2025(2):163-165.
- [3] 郁博雅.以人为本的AI营销——揭示全新的个性化策略[J].市场周刊, 2024, 37(17):76-79.
- [4] 朱毅明.大数据时代通信市场营销转型策略[J].科学与财富, 2024(17).
- [5] 邹长青.基于大数据时代通信市场营销转型策略分析[J].环球市场, 2022(20).

# Research on architecture design and data exchange strategy of medical community information platform

Wei Shou

Taihe County Hospital of Traditional Chinese Medicine, Fuyang, Anhui, 236600, China

## Abstract

In the context of the network information era, during the process of hospital construction and development, emphasis should be placed on the construction of the medical community information platform. By adopting optimization design strategies, we aim to enhance the construction of the hospital's medical community information platform, improve basic medical service capabilities, optimize resource allocation, promote tiered diagnosis and treatment, strengthen public health management, and facilitate high-quality and sustainable development in hospital construction. Especially for county-level hospitals, optimizing the design of the medical community information platform can also promote the inheritance, innovation, and development of traditional Chinese medicine. Therefore, based on analyzing the architectural design path of the medical community information platform, this article further explores the data interoperability strategy for the medical community information platform, aiming to optimize the design of the platform and promote comprehensive improvement in hospital medical and health service capabilities.

## Keywords

medical community information platform; architecture design; data interoperability; strategy

## 医共体信息化平台架构设计与数据互通策略研究

寿伟

太和县中医院, 中国·安徽 阜阳 236600

## 摘要

在网络信息时代背景下, 医院建设发展过程中, 需重视医共体信息化平台的建设。采取优化设计策略, 做好医院医共体信息化平台建设, 提升基础医疗服务能力, 优化资源配置, 促进分级诊疗, 并强化公共卫生管理, 促进医院建设事业高质量、可持续发展。尤其是县级医院, 做好医共体信息化平台优化设计工作, 还可以推动中医药传承创新发展。因此, 本文在分析医共体信息化平台架构设计路径的基础上, 进一步分析医共体信息化平台数据互通策略, 旨在优化医共体信息化平台设计, 并促进医院医疗卫生服务能力全面提升。

## 关键词

医共体信息化平台; 架构设计; 数据互通; 策略

## 1 引言

基于现状层面分析, 国内大部分地区县级医院需突破医疗技术瓶颈, 提升诊疗水平, 并优化医疗资源配置, 落实分级诊疗制度等, 进而确保能够提升综合医疗服务效率及质量。为达成这些目标, 医院方面有必要重视医共体信息化平台建设工作的积极推进。尤其是县级医院, 为推动中医药传承创新发展, 提升基层中医药服务能力, 加强医共体信息化平台建设刻不容缓<sup>[1]</sup>。此外, 值得注意的是, 在医共体信息化平台建设过程中, 有必要采取分层架构设计路径, 实现功能解耦与资源整合目标; 然后基于技术、业务、管理等维度, 落实数据互通策略, 使医共体信息化平台的功能作用充分发

挥出来。

## 2 医共体信息化平台架构设计路径

以国内某地区县级医院为例, 在医共体信息化平台建设过程中, 其架构设计需遵循分层解耦、弹性扩展基本原则, 明确“基础设施层-数据资源层-平台服务层-业务应用层-用户接入层”设计路径, 通过分层架构实现功能解耦和资源整合目标。

### 2.1 基础设施层设计

平台架构基础设施层, 需以构建弹性好、高可用的技术底座为核心目标, 由县级医院牵头, 对县域内乡镇卫生院、村卫生室等基层机构进行系统整合, 使“1+N”的分布式架构有效构成。具体而言, 此层设计要点包括:

(1) 执行混合云部署模式。通过“私有云+公有云”混合架构, 其中私有云主要部署医院信息系统(HIS)、病

【作者简介】寿伟(1986-), 男, 中国安徽阜阳人, 本科, 高级工程师, 从事医院信息化建设研究。

历史系统（EMR）等核心业务系统，以此保证医疗信息的合规性及安全性。公有云主要弹性扩展互联网医院、移动端服务等非核心业务，以此使初期投入成本有效控制。比如，县级医院或卫健部门利用私有云部署县域基础信息系统、影像系统等核心数据，并借助公有云提供远程会诊、辅助诊断等高并发服务。

（2）实行网络优化和边缘计算。对于县域偏远村卫生室，在网络宽带不足情况下，需部署边缘计算节点，对检查检验数据进行本地预处理，使传输延迟问题得到有效解决。其间，村卫生室可利用边缘设备进行心电图初步分析，然后传输到县域心电图诊断中心进行复核。

（3）硬件资源池化处理。借助超融合架构，对服务器、存储资源进行优化整合，使计算资源池、存储资源池有效形成，进而对业务系统充分支持动态扩容。比如，县域共享中药房采取硬件资源池化处理方式，使全县代煎中药获得统一调度，以此预防卫生院中药煎煮设备闲置，提高设备利用效率。

## 2.2 数据资源层设计

平台架构数据资源层，作为核心层，需以标准化、可治理的数据中枢设计为基础，解决数据孤岛、标准不统一等问题，提升数据资源利用价值。

（1）设计“一主多从”数据库架构。主数据库，在县级医院或卫健部门部署，存储全县居民的电子健康档案、EMR、公共卫生等核心数据；并应用分布式数据库，对高并发查询给予充分支持。

（2）加强数据治理与质量管控。在数据治理方面，通过数据标准体系的构建，对疾病编码（ICD-10）、药品编码（ATC）、检查检验项目编码（LOINC）等加以统一，保证各项数据之间可以互认。在数据质量管控方面，开发建设数据质量监控平台，利用平台规则引擎，对数据的完整性及一致性进行自动检测，比如对重复建档、异常检验值等进行自动识别，确保数据的质量及安全性。

（3）建设专题数据库。通过临床数据中心（CDR）、运营数据中心（ODR）、公共卫生数据中心（PHDR）的构建，对不同场景分析给予充分支持。比如，利用CDR对临床决策支持系统（CDSS）提供所需数据源；利用ODR为绩效考核提供所需运营指标数据信息<sup>[2]</sup>。

## 2.3 平台服务层设计

平台架构服务层，主要通过业务中台和数据中台建设，为上层业务实现起到支撑作用，进而提升平台服务质量水平。

（1）业务中台。需展现通用功能，包括：其一，统一身份认证功能，支持医护人员CA、患者单点登录。其二，统一资源调度功能，对县域内的各项资源进行动态调配，包括床位、设备以及药品等资源。比如，利用床位统筹系统，把上级医院康复期患者下转到基层机构，以此提升床位利用

效率。其三，协同流程引擎功能，通过对双向转诊、远程会诊等业务流程进行驱动，将协同流程引擎的功能作用充分发挥出来。比如，基层医生发起转诊申请之后，系统对上级医院专科号源自动匹配，然后将患者病史推送到接诊医生端口。

（2）数据中台。需挖掘各项数据的内在价值，包括：其一，生成患者360视图，通过对患者门诊、住院、检验以及用药等全周期数据的整合，对医生快速调阅给予充分支持，确保县域内所有患者历史病历100%可查。其二，提供辅助决策支持。以知识图谱为基础，将CDSS构建出来，使基层医生能够从中挖掘诊疗建议。比如，对于高血压患者，由系统自动推荐个性化用药方案，预警药物相互作用风险，避免医生人工诊疗建议出现纰漏。其三，展示运营分析大屏功能，对季度或年度一定时间范围内的门诊量、住院率以及医保费用等医共体关键指标进行实时展示，以此为管理层提供辅助决策支持。

## 2.4 业务应用层设计

平台架构业务应用层，直接面对医护人员、患者，并对患者提供全场景、全流程的医疗服务。设计过程中需从以下方面优化，即：

（1）医疗服务协同设计。应用双向转诊、远程医疗、检查检验互通互认系统。其中，双向转诊系统，对基层上转、上级下转全流程闭环管理充分支持。比如，由村卫生室经系统提交转诊申请之后，患者可以直接在上级医院窗口获取到转诊信息，不需要重复排队。远程医疗系统，则集成若干功能，包括远程影像、心电、超声等功能，支持全县域内乡镇卫生院的远程会诊工作开展。检查检验互认系统，与实验室信息系统/影像归档和通信系统（LIS/PACS）系统对接，使县域内检验检查结果实现实时共享。比如，某患者在县域内乡镇卫生院做了血常规检查，到县级医院则无需重复采血检验。

（2）公共卫生服务设计。应用慢性管理系统，对糖尿病、高血压等患者采取分组管理措施，并自动推送随访任务到家庭医生，以此提高县域慢病患者管理效率，提升慢病管理的规范性。

（3）健康管理及家庭医生服务设计。通过居民健康门户模块，以APP或小程序为渠道，支持患者预约挂号、查询报告以及进行健康咨询等。通过AI健康助手模块，利用自然语言处理技术，对居民健康疑问详细准确解答。

## 2.5 用户接入层设计

平台架构用户接入层，由于覆盖医护人员、患者以及管理者等多元角色，因此需优化多渠道、全终端的访问体验设计。

（1）医护人员端口设计。设计PC端工作者，将HIS、EMR以及LIS等系统集成，对复杂业务操作给予充分支持。比如，在医生工作站当中将CDSS插件嵌入，对诊疗

规范作出实时提示。设计移动端协同办公模块,以企业微信、钉钉、互联网医院小程序等平台为渠道,发挥移动审批、远程会诊、在线学习等功能作用,使全县医护人员在线培训覆盖率大幅提升。

(2) 患者端口设计。开发多渠道服务入口,对小程序、公众号、自助终端、APP等多模接入方式给予支持。其间,患者可以通过小程序预约检查以及查看报告,使线下排队减少。

(3) 管理者端口设计。设计大屏监控中心,利用可视化技术将医共体运行态势展现出来,对钻取式分析充分支持。比如,管理者可以点击县域内相关乡镇卫生院图标,对门诊量、药品库等细节数据仔细查看。并开发移动决策助手,利用智能手机端推送关键指标预警,包括医保费用超支以及设备故障等,实现实时管控目标<sup>[9]</sup>。

### 3 医共体信息化平台数据互通策略

#### 3.1 加强标准化数据接口建设

医共体信息化平台要想提升运行效率,展现实用价值,需采取多元策略,实现数据互通。其间,需加强标准化数据接口建设,将传统系统之间存在的信息孤岛打破,实现业务协同目标。

一方面,建设主数据管理系统(MDM),在设计医疗大数据标准模型基础上,梳理映射全院诊断编码、术语、科室字典、员工字典等基础数据,保证主数据的完整性、一致性以及准确性。采取发布订阅模式,把主数据实时同步到各业务系统当中,包括 HIS 系统、LIS 系统以及 PACS 系统,使数据重复录入及冲突情况避免发生。比如,县域内乡镇卫生院在上传检验报告过程中,系统自动关联县级医院(或其他市平台)的患者主索引(EMPI),以此保证信息的统一性,进而提升县域内检验检查结果互认率,减少重复检查,使患者经济负担减轻。

另一方面,规范标准化接口。为实现编码体系的统一,可采用 ICD-10、ATC、LOINC 等国际标准,保证数据互认。并规范接口协议,以 HL7、FHIR 等标准开发接口为基础,对跨系统数据交换给予支持。

#### 3.2 优化多元数据共享平台设计

为实现医共体信息化平台数据互通目标,县级医院需将云平台作为中心,对医疗、公共卫生、管理数据进行优化整合,构建“县-乡-村”三级联动网络,对分级诊疗、远程医疗等场景给予充分支撑。

一方面,发挥区域共享中药房平台功能作用,实行“AI智能审方+药师二次审核”双重机制,对“十八反”“十九畏”

配伍禁忌以及超剂量用药进行智能筛查,以此实现处方智能化审核目标。同时,根据标准流程操作自动化煎药设备,由专业团队人员配送到患者家中,并实现零库存、零等待目标。

另一方面,优化中医药远程服务网络。远程会诊模块,由基层患者与上级专家通过视频连线方式,专家对患者病历、检验报告等数据实时查看,进而为患者提供精准诊断。远程教育模块,采取直播或录播培训方式,支持基层医师参与中医适宜技术培训,以此拓展教学模式,提升医务人员培训效率。

#### 3.3 引进应用网络安全与隐私保护技术

在医共体信息化平台建设过程中,为确保数据互通的合规性及安全性,需引进应用网络安全与隐私保护技术<sup>[4]</sup>。

一方面,构建等保三级安全防护体系。通过对传输数据采取 SSL/TLS 加密处理方式,以此增强数据加密效果。同时,以角色权限管理(RBAC)为基础,对不同用户的访问权限加以限制。比如,乡镇卫生院医生只能查看本单位患者数据,不能对县级医院核心病历访问查看。并对所有数据操作行为详细记录,支持溯源分析,以此实现对数据的访问追踪。

另一方面,应用数据脱敏与隐私计算技术。对敏感信息进行脱敏处理,比如基于共享文档当中隐藏患者姓名、身份证号码等敏感信息,将年龄、性别等必要字段保留,用于病历分析。

### 4 结语

综上,在医共体信息化平台架构设计过程中,需优化基础设施层、数据资源层、平台服务层、业务应用层、用户接入层设计。在此基础上,通过加强标准化数据接口建设、优化多元数据共享平台设计、引进应用网络安全与隐私保护技术等策略,实现医共体信息化平台数据互通目标,提升基层医疗服务能力,进一步促进县域医疗机构信息化建设事业高质量、可持续发展。

#### 参考文献

- [1] 郑建忠.基于网络安全的医共体信息化建设方法探析[J].网络安全和信息化,2025,(07):40-42.
- [2] 刘艳梅,蔡诗园,朱蓉蓉.基于医防融合的医共体信息化建设实践研究[J].中国卫生产业,2024,21(04):145-148.
- [3] 姚丹丹,叶家兴,葛梦丹.基于云HIS的紧密型医共体药事管理信息化实践与探索[J].医院管理论坛,2025,42(01):77-79+54.
- [4] 周宗阳,毛瑛.信息化建设何以赋能县域医共体高质量发展:基于扎根理论的案例研究[J].中国卫生事业管理,2025,42(08):841-846.

# Deployment and Practice of Enterprise Multi-Service Servers Based on Hyper-Converged Infrastructure

Shun An Deshuai Yan

Shandong Erye Pharmaceutical Co., Ltd., Heze, Shandong, 274100, China

## Abstract

As the core infrastructure for enterprise digital transformation, hyper-converged infrastructure (HCI) integrates computing, storage, and network resources to create a unified, intelligent, and scalable resource platform. It not only dismantles the isolation and rigidity of traditional “siloes” systems but also demonstrates revolutionary advantages in resource consolidation, operational management, business continuity, and cost control. In diverse business scenarios across manufacturing, healthcare, and education, this architecture has successfully supported high-performance, highly available core systems, achieving systematic optimizations in response speed, resource utilization, and total cost of ownership. Its key technical framework and flexible deployment models provide replicable advanced paradigms for building agile, reliable, and efficient IT infrastructures, significantly driving business innovation and intelligent transformation.

## Keywords

hyper-converged infrastructure; enterprise multi-service; software-defined infrastructure

## 基于超融合架构的企业多业务服务器的部署与实践

安顺 闫德帅

山东二叶制药有限公司, 中国 · 山东 菏泽 274100

## 摘要

超融合架构作为企业数字化转型的核心基础设施, 通过深度融合计算、存储、网络资源, 构建了统一、智能、弹性的资源供给平台。它不仅彻底解构了传统“烟囱式”系统的孤立与僵化, 更在资源整合、运维管理、业务连续性与成本控制层面展现了革命性优势。在制造业、医疗、教育等多元化业务场景的实践中, 该架构成功支撑了高性能、高可用的核心系统, 实现了从响应速度、资源利用率到总体拥有成本的系统性优化。其关键技术体系与灵活的部署模式, 为企业构建敏捷、可靠、高效的IT基础架构提供了可复制的先进范式, 有力推动了业务创新与智能化转型。

## 关键词

超融合架构; 企业多业务; 软件定义基础设施

## 1 引言

近年来, 为加速产业数字化与智能化升级, 国家在“十四五”规划和“新基建”战略布局中, 明确将数据中心、云计算、工业互联网等数字基础设施作为发展重点。工信部等部门联合印发的《新型数据中心发展三年行动计划(2021-2023年)》明确提出, 要推进数据中心从存储型向计算型升级, 推动云边协同, 提升资源利用率和算力服务品质。

【作者简介】安顺(1988-), 男, 中国山东曹县人, 本科, 助理工程师, 从事超融合架构在企业多业务服务器部署与GMP合规实践研究。

## 2 超融合架构与多业务服务器部署方案

### 2.1 超融合架构硬件与软件选型

凭借对公司的业务负载的深入的了解后, 我们的超融合集群就将 4 台标准的 x86 的服务器作为其一般的节点组成, 单个的节点的配置也就逐渐的明朗了: CPU 方面我们就选用了 Intel 的 Xeon 的 Silver4214 (就 12 核 24 线程的配置来满足我们的多业务的并发的算力需求), 内存方面我们就将 128GB 的 DDR4 的内存都配置了上去 (并且都支持了 ECC 的纠错的功能, 从而也就对我们的数据库与分析系统的稳定性的保障都得到了很好的保证)。同时我们也将存储的架构也采用了“2 块 1TB 的 SSD (作为缓存层) + 6 块 3TB 的 HDD (作为容量层)”这样的混合的架构来更好的满足了我们的数据的高效的存取与快的检索; 另外网络的适配我们也将 2 块 25GbE 的万兆的网卡都配置了上去 (从而也就对我们将要部署的 OpenLab、Waters 等大数据的传

输都无瓶颈了)等等。通过对软件的配置,我们将VMware的高性价比的vSphere 6.7(其对各类的业务系统的虚拟机的部署都有着很好的兼容性)作为虚拟化的平台,结合了VMware的vSAN 6.6的分布式存储的优势,实现了对存储的资源的池化的高效的利用,同时又将Veeam的Backup & Replication 10作为我们的备份系统,它既可以对虚拟机的全量的备份,又能对其实现到增量的备份,从而充分的满足了GMP对备份的时效性的要求。

## 2.2 多业务服务器的超融合平台部署策略

针对不同业务系统的“算力需求、兼容性、安全性”差异,在超融合平台采用“资源按需分配+隔离部署”的策略,具体部署方案如下:

**AD域控服务器:**通过部署2台虚拟机(主备模式),每台配置2vCPU、32GB内存、100GB存储,通过vSphere HA(高可用)功能实现主节点故障时1分钟内自动切换至备用节点,从而为公司500+用户(可替换为实际用户数)的身份认证、权限管理不中断工作;同时将AD域控虚拟机部署在独立的虚拟网络(VLAN 100),限制与其他业务系统的直接通信,大大降低AD域控身份信息泄露的风险。

**重要业务服务器:**为OpenLab、Waters(气相、液相)业务提供高效的服务支撑,我们分别部署2台高性能虚拟机——配置2vCPU、32GB内存、500GB SSD存储(提升数据读取速度),并通过vSAN存储策略设置“2副本+SSD缓存”,确保实验数据写入与分析过程无延迟;同时,为满足GMP对“实验数据不可篡改”的要求,对部署的虚拟机禁用本地磁盘写入权限,将所有数据直接存储至分布式存储池中,并开启存储审计日志,记录每一次数据读写操作。

**一卡通与打印服务器:**通过vSphere的资源调度的功能,在一卡通的早高峰(上班打卡的那些时段,尤其是7:30-8:30的那段时间)就自动的为其分配了另外的2vCPU的算力,从而避免了因打卡的系统的卡顿而给用户带来的不便,而一卡通的非高峰时段则将这些分配的资源又回收给了打印的服务器,从而大大提升了对这些“轻负载”的资源的利用率。

**数据库服务器:**基于公司OpenLab业务系统的分布式架构,通过部署1台虚拟机,配置16vCPU、64GB内存、2TB存储,采用“vSAN Raid 5”存储策略(兼顾容量与可靠性),并通过虚拟机磁盘加密(AES-256算法)保护敏感数据;同时,数据库虚拟机与其他业务虚拟机通过SDN(软件定义网络)划分独立VLAN(VLAN 20),仅开放数据库访问端口,防止未经授权访问。

## 3 基于Veeam的备份体系构建与GMP合规适配

### 3.1 多业务服务器的分级备份策略

通过对核心业务数据安全性的深入了解,结合各系统的重要性与数据更新频率等因素的分析研判,对Veeam备份服务器制定了相应的备份策略:

通过对数据库服务器、OpenLab系统、Waters系统等业务系统数据,高频(日均更新数据100GB+)更新的特点分析,采用了“每日增量备份+每周全量备份”的备份策略。备份文件存储至超融合集群外接的独立存储阵列(容量10TB),从而有效避免由于数据备份所对应的存储资源与业务数据共用存储资源所带来的各种风险。

Veeam备份服务器通过“应用感知备份”技术,确保备份过程不影响业务运行——备份数据库服务器时,自动暂停数据库写入操作(仅需10秒),完成增量数据捕获后立即恢复写入,用户无感知备份过程;备份OpenLab系统时,可直接读取vSAN存储快照,避免对虚拟机性能造成占用。

### 3.2 GMP导向的备份数据恢复测试实践

作为医药生产企业,需满足GMP对“数据备份与恢复”的合规要求——需证明备份数据可成功恢复,且恢复后的数据完整性、准确性符合规范。公司建立“年度恢复测试”机制:

**年度恢复测试:**每年7-8月选取3类核心业务服务器(数据库、OpenLab、Waters)的备份数据进行全量恢复测试,测试流程如下:

搭建独立的测试环境(与生产环境配置一致的超融合节点),避免影响生产业务;

从Veeam备份服务器调取3个月前的全量备份数据(模拟历史数据恢复场景),执行恢复操作;

对系统恢复完成后,我们通过核对数据库数量、用户信息等信息与备份前一致;OpenLab系统需测试色谱图谱文件可正常打开、分析功能正常;对Waters系统验证历史检测数据可追溯至原始操作记录等,都做了充分的验证;

依托于对数据库恢复时长(数据库恢复平均耗时45分钟,OpenLab系统恢复耗时30分钟)与通过率,形成《数据恢复测试报告》,留存备查。

2022-2025年度,公司共开展4次年度恢复测试,备份数据恢复成功率100%,测试通过率100%,完全符合GMP对“数据可恢复、可追溯”的管理要求。

## 4 超融合架构在企业多业务服务器中的实践应用

### 4.1 制造业智能产线系统实践

制造业智能产线系统对IT基础设施的性能、稳定性和实时性要求极高(如图1)。东风汽车零部件集团采用超融合架构支撑ERP、MES、WMS等核心生产系统,将原有分散部署的30台物理服务器整合为5节点超融合集群。部署过程中,采用“双活数据中心+边缘节点”的拓扑结构,核心层在武汉总部数据中心部署4节点集群,灾备层在襄阳数据中心部署3节点集群,边缘层在十堰、襄阳、武汉三大工厂各部署2节点微型集群。通过VXLAN构建Overlay网络,主备中心间采用100Gbps裸光纤直连,分支机构通过IPSec VPN接入,实现网络资源的统一管理 with 自动化配置。



图1 制造业智能产线

数据迁移采用“三级渐进式迁移法”，第一阶段利用 VMware vMotion 迁移工具批量迁移非关键业务虚拟机，第二阶段通过在线迁移技术实现 ERP 系统迁移，第三阶段针对 Oracle RAC 数据库采用双活架构，最终切换窗口仅需 127 秒。实践效果显示，ERP 系统响应速度提升 40%，存储延迟从 15ms 降至 3ms，备份窗口由 8 小时压缩至 1.5 小时，年度运维成本降低 35 万元。双活架构实现产线系统零中断升级，满足制造业对业务连续性的高要求。超融合架构的横向扩展能力支持产线系统快速扩容，新增节点可在线加入集群，无需停机，保障生产连续性。通过统一管理平台，实现计算、存储、网络资源的集中监控与智能调度，提升运维效率 60% 以上，为智能制造转型提供坚实的技术支撑。

#### 4.2 医疗行业影像平台实践

医疗行业影像平台对数据存储容量、访问速度和安全性要求极高。北京协和医院采用超融合架构支撑 HIS、PACS、LIS 等核心医疗系统，构建同城双活容灾架构。部署方案采用全闪存配置，单节点配 2 × Intel 至强铂金 8380 处理器、1.5TB 内存、25TB NVMe 闪存，通过分布式存储技术实现数据三副本存储，确保数据高可用。网络配置采用 25GbE 网卡，构建高速存储网络，保障影像数据快速调阅。

安全防护方面，通过三副本机制、数据加密和访问控制，满足医疗行业等保 2.0 三级安全要求。实践效果显示，影像调阅速度提升 5 倍，业务连续性达 99.99%，机房空间节省 60%。超融合架构的横向扩展能力支持医院业务快速增长，新增节点可在线加入集群，无需停机扩容，保障医疗服务的连续性。通过统一管理平台，实现医疗数据的集中存储与快速访问，支持 PACS 系统存储海量影像数据，满足放射科、病理科等科室对影像调阅的实时性要求。容灾架构确保在单数据中心故障时，业务自动切换到备用中心，实现 RPO=0、RTO<15 分钟的高可用保障，为患者提供不间断的医疗服务。资源池化技术实现计算、存储资源的按需分配，支持医院业务系统的弹性扩展，满足医院信息化建设的长期发展需求。

#### 4.3 教育行业虚拟桌面实践

教育行业虚拟桌面场景对资源弹性和管理效率要求较

高。清华大学采用超融合架构支撑 VDI 虚拟桌面系统（如图 2），构建统一资源池，支撑数千个虚拟桌面并发运行。部署方案采用混合存储配置，SSD 作为缓存层加速桌面启动和热点数据访问，HDD 作为容量层存储用户数据。网络配置采用 10GbE 网卡，构建高速网络环境，保障桌面访问流畅性。资源调度方面，通过动态资源调度技术，根据用户负载动态调整资源分配，避免资源浪费。



图2 VDI 虚拟桌面系统图

安全防护方面，通过多租户隔离、数据加密和访问控制，保障用户数据安全。实践效果显示，虚拟桌面部署时间从传统架构的 2 小时压缩至 5 分钟，资源利用率提升至 75% 以上，运维成本降低 40%。超融合架构的横向扩展能力支持学校业务快速增长，新增节点可在线加入集群，无需停机扩容，保障教学服务的连续性。通过统一管理平台，实现虚拟桌面的集中部署与管理，支持教学、科研、办公等不同场景的虚拟桌面需求。资源池化技术实现计算、存储资源的按需分配，支持虚拟桌面的弹性扩展，满足学校在不同学期、不同课程对虚拟桌面资源的需求变化。

## 5 结语

超融合架构以其深刻的集成性和平台化能力，正在重塑企业 IT 基础设施的构建与管理模式。从制造业的精益生产到医疗行业的影像协同，再从教育场景的资源分发，其实际应用充分证明了其在复杂业务环境中的普适价值与强大支撑力。它解决了传统架构资源孤岛、运维复杂、扩展困难等问题，通过软件定义核心技术，为企业带来敏捷性与韧性。

## 参考文献

- [1] 顾桦杰.高校中的服务器超融合技术应用分析[J].信息与电脑, 2024, 36(15):139-141.
- [2] 刘昇,毛海镰,刘晓宇,等.一种基于超融合平台卷包集控系统管理[J].中国科技信息, 2025(7).
- [3] 甘祖平,赵伟光,李前义.一种对称架构的超融合云计算微模块:CN201711425012.9[P].
- [4] 裴明哲,张志刚,郑春光,等.基于超融合架构的数据中心设计[J].信息记录材料, 2024, 25(1):29-31.

# Government-Digital Synergy: The Digital Transformation Paradigm of Suqian JD Logistics

Yue Hu Jialiang Duanmu Yanli Li

Suqian University, Suqian, Jiangsu, 223800, China

## Abstract

Under the digital economy, the digital transformation of logistics is the key to breaking through cost efficiency constraints and enhancing governance capabilities. Policy synergy is the core factor determining the success of this transformation in small and medium-sized cities. Suzhou leveraged a 30% fiscal subsidy, 300 acres of land, and a preferential electricity rate of 0.45 yuan per kilowatt-hour to attract projects like JD Logistics' "Asia No. 1" warehouse, reducing single-ticket costs by 50%. However, challenges persist, including fragmented data interfaces, poor adaptation to rural scenarios, and a talent gap of 120 professionals. This paper proposes the "Precision Policy—Scenario-Focused Technology—Local Talent Development" model, addressing these issues through targeted policies, tailored technologies, and local talent cultivation. It offers a lightweight, closed-loop transformation pathway for small and medium-sized cities, providing a practical template for sustainable cost reduction and efficiency improvement.

## Keywords

Policy Synergy; Digital Transformation of Logistics Enterprises; JD Logistics; Resource Mobilization Mechanism; Regional Digital Governance

## 政数协同——宿迁京东物流数字化转型范式

胡悦 端木家梁 李延莉

宿迁学院, 中国·江苏 宿迁 223800

## 摘要

数字经济下, 物流数字化转型是突破成本效率约束、提升治理能力的关键。政策协同是中小城市转型成败的核心。宿迁以30%财政补贴、300亩用地及0.45元/度电价撬动京东物流“亚洲一号”等项目, 单票成本降50%, 但面临数据接口碎片化、农村场景适配差、人才缺口120人等协同断点。本文提出“政策精准化—技术场景化—人才本地化”模式, 通过靶向政策、适配技术、本地人才培养破解难题, 为中小城市提供轻量化、闭环转型路径, 实现可持续降本增效的可实现模板。

## 关键词

政策协同; 物流企业数字化转型; 京东物流; 资源动员机制; 区域数字治理

## 1 引言

随着数字经济与实体经济深度融合成为国家战略, 物流业作为数据要素流通的关键节点, 其数字化转型对产业升级和数字基建落地至关重要。各地政府虽频繁出台数字物流政策, 但普遍存在“政策工具碎片化”“落地转化率低”“企业动力不足”等问题, 表明政策供给与企业数字绩效提升尚未形成有效联动, 尤其缺乏政策协同效率对转型影响机制的研究。

结合上述论述, 本文以宿迁京东物流为样本, 构建“政策协同(P)—资源动员(R)—技术落地(T)—绩效反馈(P)”闭环模型, 回答三个问题: 政策协同机制如何影响物流企业数字化资源动员过程? 政策工具组合如何通过机制传导作

用于技术落地绩效? 中小城市怎样通过协同机制重塑数字化政策供给结构, 提高转型效率? 研究采用政策文本分析、半结构式访谈与案例分析法, 资料来源包括2019—2024年宿迁市政府公开文件、京东物流内部运营数据、苏北五市政策比对及43家上下游企业问卷。

## 2 研究设计思路与框架

### 2.1 设计思路

基于政策协同理论、TOE框架和动态能力理论的建构, 采用“理论支撑—案例验证—经验对比—路径提炼”四步递进式逻辑, 通过构建“政策协同—资源整合—技术落地—转型绩效”理论模型, 然后以宿迁京东物流为例进行案例验证, 运用转轨协同机理分析路径。同时进行跨企业层面和传统环境对照, 最后提炼路径。

### 2.2 分析框架

本研究整合宿迁物流发展、政策及企业数据, 客观呈

【作者简介】胡悦(2006—), 女, 中国江苏宿迁人, 本科, 从事物流管理研究。

现“政策协同”与“企业转型”实况,精准定位政企衔接堵点。如图1所示,通过构建“政策—企业—成效”因果链,提出政企协同策略和转型举措,形成“政策引导—技术试点—生态共建”的宿迁路径。结合本地实践与国内外经验,经理论与实践验证,凝练出可复制的“宿迁模式”。该模式聚焦资源整合、技术落地与绩效反馈,为中小城市提供政企协同转型的轻量化范本,破解政策碎片化与转型低效难题,推动数字经济与实体经济深度融合。

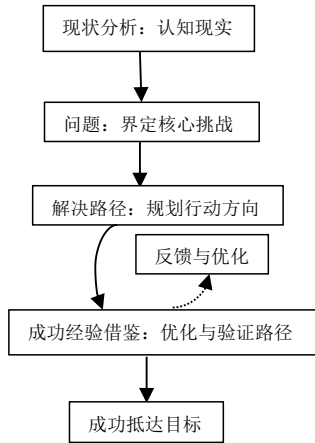


图1 政策—企业互动视角下的数字化转型路径分析框架

### 3 宿迁—京东政策协同透视

#### 3.1 宿迁市数字物流政策供给体系

基于宿迁市构建的多层次物流产业数字化发展政策体系,宿迁以30%补贴、跨部门专班、区域备忘录撬动京东投入。

同时,以“中国(宿迁)跨境电子商务综合试验区”为载体,推动物流、电商两个领域数字化协同<sup>[1]</sup>,叠加园区跨境电商配套产业,对属于海关特殊监管区域内的京东物流等企业的跨境物流数字化服务实施税收优惠;区域内各城市间签订《苏北物流数字化协同发展备忘录》,围绕区域协同方面探索物流数据互通及政策联通等工作。但在我国物流产业政策措施与目标协同中,各政策目标与政策措施呈现了良好的协同关系,并且协同度逐渐增强,这表明我国政府逐渐选择搭配合适的政策措施来实现不同的物流产业政策目标,因此不同的政策目标所采用的政策措施具有一定差异性。<sup>[2]</sup>

#### 3.2 京东物流政策协同实践

京东物流通过构建全方位的智能物流体系,在仓储、运输调度及末端配送三大核心环节实现了显著的效率提升与成本优化。

在仓储自动化方面,依托“亚洲一号”智能仓项目,大规模引入260台AGV机器人及14套交叉带分拣机,实现了订单处理时效提升50%,并将库存周转天数由20天大幅压缩至14天。在数字调度这方面,设立了“京东物流智能调度平台”<sup>[3]</sup>,该平台创新性地融合了货运、路况、订单、天气四维数据,让路径优化率提升了20%,成功将车辆空

载率从25%降至15%,每年节省了油费高达1800万元。而在并购整合方面,京东在并购后在管理、财务等方面实现协同效应,推动物流行业深度协同发展,这表明京东物流在并购后经过各方面的资源整合,整体实力得到了提升,实现了长期协同效应。<sup>[4]</sup>

#### 3.3 宿迁—京东耦合关键场景

宿迁与京东通过战略协同、政策精准扶持和资源高效整合,打造政企合作典范。2019年双方快速锁定合作,敲定用地及电价优惠。资金方面,省、市、园区三级补贴共50%解决9000万设备款;资源上,省级土地指标优惠节省2.4亿,大数据中心电价年省电费1200万,推动项目ROI超12%。

### 4 京东物流数字化转型的困境分析

#### 4.1 政策碎片化

政策支持的精准度不够,同样影响了企业投入技术研发的积极性。早期的政策补贴,既没有覆盖到数字孪生、AI调度算法这类核心技术的研发环节,也没把农村智能驿站这样的末端设施建设纳入扶持范围。苏北五市补贴比例、数据接口、安全规范各异,京东跨区调度需同时对接5套系统,区域仓储资源利用率仅为58%,物流成本反升8%。

#### 4.2 场景适配不足

京东“亚洲一号”项目在宿迁落地时,面临农村场景特殊性挑战:无人配送车的减震系统多依据城市平坦道路标准设计,面对农村常见的坑洼路面,其故障率高达18%,严重影响了配送效率与设备使用寿命;智能驿站设备烧板率达12%,主要因农村电网不稳定;中小企业数字化投入门槛达30万元,超出多数小微物流企业承受能力,导致65%的企业仍停留在基础信息化阶段。

#### 4.3 人才供需错位

宿迁本地高校物流管理专业毕业生中,85%需经过6个月以上再培训才能胜任数字化岗位;京东项目急需的算法工程师本地缺口达120人,企业不得不从外地高薪引进,推高运营成本。高校课程设置与企业需求脱节,库存周转天数从行业平均14天延长至21天,反映人才技能不匹配对效率的负面影响。

### 5 政策协同下京东物流数字化转型路径

#### 5.1 “政策协同—技术创新—人才生态”的理论模型与实施路径

如图2所示,该模型以金字塔形式从上而下分成三个层次,底层人才生态建设强调吸引、培养和留住高素质人才的良好环境;中层是技术创新应用,指技术研发、引进、应用;顶层是政策协同机制,指制定和协调相关政策。人才为基础,技术为手段,政策为保障,相互支撑,协同共进。

如图3所示,其逻辑关系为,政策协同为技术创新、人才生态提供制度与资源保障;技术创新需人才生态支撑,其成果反哺政策优化方向;人才生态因政策激励与技术需求而持续完善,三者形成“保障—驱动—支撑”的闭环系统。

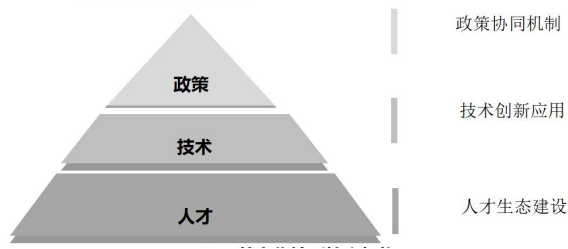


图2 数字化转型核心架构

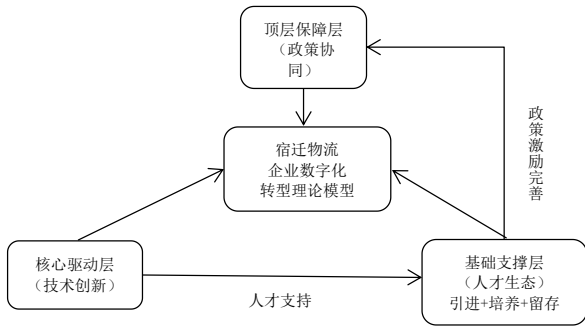


图3 “政策-技术-人才”理论模型

### 5.2 优化政策协同机制，筑牢转型保障路径

宿迁市政府牵头成立“物流数字化转型协同领导小组”，整合发改、交通、商务等部门资源<sup>[5]</sup>，市政府一张《清单》固化备案、路权、末端、接口四责；线上“政策兑现窗口”一口受理，审批由15日压至5日；苏北五市签署协同协议，统一数据格式与补贴比例，区域物流成本降8%。

### 5.3 深化技术创新应用，激活转型动能路径

京东物流就持守以技术推供应链发展的观念，将数据与算法全面且深入地嵌入采购、仓储以及履约等整个业务流程当中。<sup>[6]</sup>“1+N”政企研联盟推出“共享分拣机+低成本SaaS”普惠包，财政补贴50%，中小企业3万元即可上线；联合开发轻量化无人车（50 kg/100 km/2.8万元）与太阳能驿站（2000元/站），采用租赁模式，企业前期投入降30%，农村半年覆盖率提至40%。

### 5.4 建设人才与生态体系，夯实转型根基路径

人才方面采用内外结合的用人方式，对智能算法工程师等高层次人才给予最高30万元安家补贴；与政府、高校、社会联动，统筹协调创新人才的培养供给及人才需求侧。<sup>[7]</sup>

对外30万元安家+3年租房补贴锁定算法工程师；对内共建“京东数字物流学院”订单班，年产200名“毕业即上岗”数字运营员；每年互派20名本地骨干赴京东跟岗、15名专家驻企攻关，打通育、用、留闭环。

## 6 模范地区电商物流数字化成功经验借鉴

杭州、徐州和宿迁在物流与产业融合发展中形成了各具特色的实践经验。

杭州构建“生态整合—金融赋能”双驱模式。依托传化智联打造“物流大脑”，建立“车—货—场”动态匹配机制，联动上下游形成全链条协同体系；同时推行“数据征信

+数字化风控”政策，基于物流数据为中小物流企业提供供应链金融服务，提升融资效率。

徐州构建“多式联运—产业定制”双渠道联动机制。建设公铁水空多式联运平台，对接海关、商检系统简化通关流程；依托本地“公铁水”资源，由徐工智联建设联运通道，集成采购、生产、成品及国际物流业务，形成“通道+枢纽”物流网络服务体系，建立工程机械成品物流“无车承运”模式<sup>[8]</sup>，提供大件设备运输智能规划等数字化治理方案，形成“枢纽赋能—产业适配”的支撑体系。

宿迁打造京东“电商生态—全链贯通”闭环模式。整合线上线下订单需求，通过“智能分仓—提前备货”保障协同，实现极速发货；坚持“仓储自动化+逆向管控数字化”双轮驱动，打造“亚洲一号”智能仓，完成退货环节数字化升级，提升仓库流转率，降低退货成本，实现“电商引流—物流提效—服务优化”。

## 7 结论

在数字经济时代，政策协同是推动地方物流企业高质量转型的关键。国家“数字中国”战略与江苏“智改数转”政策为京东等企业提供了资金扶持、标准制定等支持，有效降低了转型门槛与试错成本。

基于“政策协同—企业响应—转型成效”交互模型可知，转型成功并非仅由政策或技术决定，而是政策指引方向、企业结合战略选择技术与管理模式、并在取得成效后反馈政府以优化政策的动态过程。

根据以上分析，本文总结出适用于中小城市物流企业的“宿迁模式”及“四化”转型路径：政策精准化、技术场景化、数据共享化、人才专业化。该模式强调转型应扎根于本地政策、产业生态与人才基础，具备较强适应性并循序渐进，旨在为宿迁优化物流政策提供参考，也为国内同类城市物流企业的数字化发展提供借鉴。

### 参考文献

- [1] 刘一宽,冷静,李永田.无锡跨境电商O2O发展现状及策略研究——基于SWOT分析法[J].商场现代化,2021.
- [2] 李洋.我国物流产业政策措施与目标的协同研究[D].西安电子科技大学,2020.DOI:10.27389/d.cnki.gxadu.2020.001758.
- [3] 唐浩.铁路物流基地智能化运营管理体系设计[J].铁道运输与经济,2021.
- [4] 付静柔.京东物流并购协同效应研究[D].江西农业大学,2025. DOI:10.27177/d.cnki.gjxnu.2025.000584.
- [5] 詹睿.杭州市物流业发展政府作用研究[D].新疆农业大学,2024. DOI:10.27431/d.cnki.gxnyu.2024.000776.
- [6] 柳铭璇.京东物流供应链智能化的路径及绩效研究[D].武汉纺织大学,2025.DOI:10.27698/d.cnki.gwhxj.2025.000446.
- [7] 吴瑞.基于协同创新的苏北区域人才政策优化研究[D].中国矿业大学,2019
- [8] 杨昕.现代物流业发展背景下政府职能发挥研究[D].南京理工大学,2022.DOI:10.27241/d.cnki.gnjgu.2022.000017.

# Exploration of the Path of Power Enterprise Informatization Transformation Driven by Big Data

Hui Qiu

State Power Investment Corporation Digital Technology Co., Ltd., Beijing, 102200, China

## Abstract

Against the backdrop of deep integration between the digital economy and new-type power system development, big data has emerged as the primary catalyst for power enterprises' digital transformation. This paper examines the essence and characteristics of big data-driven digital transformation within the context of power industry development, while elucidating its contemporary value and practical significance. Through analyzing current status in data resource management, technological applications, and operational coordination, the study proposes actionable transformation pathways across four dimensions: data infrastructure development, technological innovation, business scenario integration, and safeguard mechanism enhancement. These insights provide theoretical references and practical guidance for power enterprises to achieve high-quality development and strengthen core competitiveness, ultimately contributing to the establishment of a secure, efficient, green, and modern energy system.

## Keywords

big data driven; power enterprises; informatization transformation path

## 大数据驱动电力企业信息化转型路径探索

邱慧

国家电投集团数字科技有限公司, 中国·北京 102200

## 摘要

在数字经济和新型电力系统建设深度融合的大背景下, 大数据成了促使电力企业信息化转型的主要动力。本文以电力企业发展情况为背景, 对大数据驱动信息化转型所包含的实质和特点进行系统的分析, 阐述转型所处的时代价值和现实意义。通过对电力企业数据资源、技术应用、业务协同等方面的现状分析, 从数据底座建设、技术体系创新、业务场景融合、保障机制完善四个方面, 给出有操作性的转型路径, 为电力企业高质量发展、提升核心竞争力提供理论参考和实践指导, 希望助力打造安全高效绿色现代能源体系。

## 关键词

大数据驱动; 电力企业; 信息化转型路径

## 1 引言

目前全球能源格局正处于深刻的变革之中, 我国提出“双碳”目标和新型电力系统建设任务, 既给电力企业的发展指明了方向, 又给电力企业带来了前所未有的挑战。传统电力企业面临电网架构复杂、新能源消纳压力大、客户服务需求多样化等问题, 传统的信息化模式已经不能满足新时代的发展需要。大数据技术以海量数据处理、深度分析挖掘为特点, 给电力企业信息化转型开辟了全新的方法。近几年来, 国网河北电力、南方电网等企业实践证明, 大数据的应用可以大大提高电网运维效率、优化能源资源调配。本文则主要从这些入手, 分析大数据驱动电力企业信息化转型的方式, 说明转型逻辑、破解转型难题, 促进电力企业从传统的运营

模式向数字化、智能化模式转变, 给能源行业高质量发展注入新的活力。

## 2 大数据驱动电力企业信息化转型概述

### 2.1 电力企业信息化转型核心内涵

电力企业信息化转型不是单纯地进行技术升级, 是以大数据技术为依托, 从业务流程、管理模式、价值创造等各个方面展开的全方位变革。核心内涵就是通过数据资源的全面整合和深度应用, 打破传统电力企业各个业务环节的信息壁垒, 创建起以数据为驱动决策、技术赋能业务的新型运营体系。转型涉及发电、输电、变电、配电、用电整个电力产业链, 牵涉数据采集、传输、存储、分析、应用全生命周期管理, 最终实现电网运行更高效、能源配置更合理、客户服务更优质的目的。大数据驱动下的信息化转型与传统信息化建设不同的是, 它更加重视数据的生产要素价值, 把业务和技术紧密融合在一起, 并不是孤立地搭建或者升级单一系统。

【作者简介】邱慧(1972-), 男, 中国山东平度人, 本科, 经济师, 从事电力行业信息化研究。

## 2.2 大数据在电力领域的应用特征

大数据在电力领域的应用具有很强的行业特征，主要表现在四个方面，第一数据海量性，电力系统包含千万级设备、亿万级用户，实时产生的电量、电压、电流等运行数据，加上客户消费、设备台账等管理数据，形成了庞大的数据资源库，南方电网工业互联网平台年存储数据达 570 亿条；第二实时性要求高，电网运行、电力调度等核心业务对数据处理的时效性要求很高，需要利用边缘计算等技术实现数据就地处理、实时分析，保证电网的安全稳定运行；第三多源异构性，电力数据有结构化的设备参数、半结构化的巡检记录、非结构化的红外图谱等许多种类，要冲破数据融合的技术壁垒；第四价值高密度性，借助大数据分析可以达成设备故障预警、新能源功率预估、负荷精确控制等目的，从而极大优化电力系统运作效能和经济效益。

## 2.3 电力企业信息化转型发展阶段

我国电力企业信息化转型分为三个阶段，第一阶段为基础信息化建设阶段，完成发电企业生产监控系统、电网企业 SCADA 系统等核心业务环节的单个系统建设，实现核心业务的数字化记录和初步监控；第二阶段为系统集成阶段，建设企业级数据中心，打通各个分散系统的数据壁垒，实现信息共享，国网河北电力建设企业数据中台全量接入 92 套两级系统，数据获取时间缩短到分钟级；第三阶段为大数据驱动转型阶段，目前大多数电力央企都进入这一阶段，重点推进数据资源的深度应用，构建工业互联网平台，开发多元化数据应用场景，实现从业务驱动向数据驱动的转变，转型重心从系统建设转向价值创造<sup>[1]</sup>。

# 3 大数据驱动电力企业信息化转型的意义

## 3.1 提升电网安全稳定运行水平

大数据技术的使用可以大大提高电力企业对电网运行状况感知、控制的能力，从根本上提高电网安全稳定运行水平。在输电、变电、配电等各个环节上布设智能感知装置，采集设备运行状况、环境参数等诸多方面的数据，借助大数据分析模型，就能达成对设备故障的早期预警并精确定位<sup>[2]</sup>。雄安新区用北斗和 5G 技术无人机巡检提高了 15 倍的效率，并且可以及时发现线路隐患；利用声纹识别、红外测温等数据构建起设备故障预警体系，实现了事前预警、状态检修，大大减少了电网故障的发生。同时大数据驱动的电网调度系统可以考虑到新能源出力波动、负荷变化等诸多因素，从而达到全网资源协同优化配置的目的，提高电网对极端天气、负荷突变等突发情况的应对能力<sup>[3]</sup>。

## 3.2 推动能源绿色低碳转型

双碳目标之下，大数据驱动的信息化转型，成了电力企业推进能源绿色低碳转型的重要依托。一方面依靠大数据分析技术来提升新能源功率预测的精准度，综合考虑储能、电动汽车有序充电、柔性负荷调节等各方面资源，较好地应

对风电、光伏等新能源发电过程中存在的间歇性、波动性的问题，增强新能源消纳能力。青海省开发光伏电站集群控制系统，用协调控制的方式解决大规模光伏并网造成的电压波动问题，国网河北电力采用新一代调度技术支持系统来提高新能源的利用率。另一方面大数据可以实现能源消耗的精确监测和有效管理，创建起源、网、荷、储全方面展示系统，改善能源生产、传输、消费各个环节的调配，促使能源资源朝清洁低碳方向转变，助力新型能源强省创建和绿色发展目标的达成。

## 3.3 优化企业经营管理效率

大数据技术可以促进电力企业经营管理模式的更新，达到降本增效、管理升级的目的。运维管理上依靠数字孪生、智能巡检技术的应用可以大幅度地减少人工成本、提高运维效率。如贵州贵阳 500kV 青岩变电站智能巡检系统，由原来的 1 天缩短到半小时以内；大唐集团用智慧新能源远程集中控制系统实现成本降低 50% 以上。大数据分析可以改善人力、物力、财力等资源的调配方式，提高资源利用率，中国华能利用区块链技术创新起“华能智链”平台，使得整个行业的供应链效率得到改善，提升幅度超过 10%。在财务管理、人力资源管理等方面，大数据可以实现流程自动化、决策科学化，减少人为失误，提高管理的精细化程度<sup>[4]</sup>。

# 4 大数据驱动电力企业信息化转型路径

## 4.1 构建全域数据资源底座

构建全域数据资源底座是大数据驱动转型的前提，需要从数据采集、整合、治理三个方面入手。数据采集方面要推进电力物联网感知层的深度覆盖，突破传统 SCADA 系统的局限性，在输电环节部署分布式光纤测温、智能视频巡检设备，在变电环节推广智能巡检机器人、声纹识别装置，在配电环节加装智能融合终端，实现全产业链数据的全面感知与采集。规范数据采集标准，统一不同的设备、系统数据接口，保证数据采集的规范性、一致性。建设企业级数据中台，打破各个业务部门、各个系统之间存在的信息壁垒，实现源网荷储全环节数据、规建管运全流程数据的贯通融合，国网河北电力数据中台实现了 92 套两级系统全量接入，构建了全景展示体系。在数据治理方面，创建起完善的治理体系，组建专门的治理团队，开展数据清洗、脱敏、标注等工作来提高数据质量，确定数据的权属，形成数据资源持有者、加工使用权、产品经营权三权分置的产权制度，保障数据的安全合规流通。

## 4.2 打造协同技术支撑体系

技术支撑体系是转型的主要动力，需要构建网络、平台、算法协同发展的技术架构。通信网络建设方面，采用光纤通信为主、5G 无线通信为辅的混合通信网络，光纤通信支撑变电站之间骨干通信，5G 网络支撑配电网终端设备广域互联，开发电力专用通信协议栈，与国际标准兼容，保证设备

互联互通。平台建设方面创建企业级工业互联网平台，将云计算、边缘计算、区块链等技术能力整合在一起，实现数据存储、计算、分析一体化的服务，南方电网的“南网智瞰”平台接入设备超过1.2亿台，可以对设备进行实时的状态感知以及智能的运行控制。算法研发方面以电力专用算法为突破口，研制出以深度强化学习为基础的发电计划优化算法、基于联邦学习的电压控制模型等智能化决策算法，解决算法可解释性问题，建立决策溯源系统，保证应用合法<sup>[5]</sup>。

#### 4.3 推进业务场景深度融合

业务融合是转型的重要抓手，要把大数据技术渗透到电力核心业务当中。在电网规划阶段，利用大数据分析区域经济发展、负荷变化、新能源资源等数据来建立电网规划优化模型，从而提高规划的科学性、前瞻性，如国网河北电力分布式光伏发展规划分析平台使光伏科学、安全、有序地接入电网。在电网运维环节，用数字孪生技术创建设备多维度孪生体，融合BIM+GIS时空数据底座，实行设备全生命周期管理，依靠模拟仿真改善运维方案，雄安新区剧村城市智慧能源融合站创建数字变电站，达成运维智能主导。在电力调度环节，创建基于大数据的智能调度系统，把新能源出力、负荷变动等要素综合起来，完成发电计划的自主优化以及全网的协同调控，从而改善调度效能并加强电网的安全性。根据客户画像，给客户推荐精准服务、主动预警故障风险、提供个性化电费套餐等措施来推动服务模式创新，提高客户体验。

#### 4.4 健全转型保障机制体系

健全的保障机制是转型顺利推进的重要保证，要从战略、组织、人才、安全四个方面来构建全方位的保障体系。战略规划层面需要企业管理层确定出数字化转型战略的定位，把其加入企业的整体战略之中，制定出相应的转型行动计划以及实施路径，加强集团层面的统筹协调和一体化布局，防止盲目推进。从组织架构上设立数字化转型牵头部门，确定各职能部门的职责分工，打破跨部门合作的壁垒，组成

跨领域的专项小组，推进业务和技术的深度融合，三峡集团设立数字化转型领导小组和专职部门，开展全方位的诊断工作。人才培养方面建立复合型人才培育体系，利用高校双学位项目、企业内部培训、校企合作等途径培养掌握电力系统知识与大数据技术的复合型人才，组建专业的数字化队伍，提高技术研发和应用能力。从安全方面来实行内生安全建设理念，在终端芯片中集成安全加密模块，创建全域态势感知平台，融合漏洞扫描、流量分析等安全功能，制定数据安全分级分类管理制度，防控网络安全风险与数据泄露问题。

## 5 结语

综上所述，大数据推动电力企业信息化转型是数字经济发展的必然结果，也是电力企业实现“双碳”目标的必然选择，是电力企业提高核心竞争力、实现高质量发展的重要途径。本文通过对于转型概述、转型意义与路径的探究来确定转型的核心含义、时代价值以及实现方向。创建全域数据基础，建构协同技术体系，推进业务场景融合，健全保障机制，构成完整转型实施框架。电力企业信息化转型已经进入协同发展、生态建设的关键时期，数据整合、技术适配、协同壁垒等还存在困难，但是大数据技术不断成熟、应用加深，转型前景十分广阔。

#### 参考文献

- [1] 徐子陶. 电力企业预算项目化全流程管理优化策略分析[J].环渤海经济瞭望,2025,(11):8-11.D
- [2] 阮早栋. 数字化转型对电力企业财务管理的影响与优化路径[J].财经界,2025,(33):78-80.
- [3] 樊芑材. 电力行业税收优惠政策落地过程中的信息化支撑研究[J].信息与电脑,2025,37(22):178-180.
- [4] 韩珍. 浅析新经济背景下的电力人力资源管理[J].国际公关,2025,(21):104-106.
- [5] 周颖. K电力企业办公成本精细化管控措施[J].大众标准化,2025,(21):110-112.

# Research on AI-based 6G base station network management and resource orchestration

Zhaohong Song

Huawei Technologies Co., Ltd., Shenzhen, Guangdong, 518129, China

## Abstract

The core characteristic of the sixth-generation mobile communication technology (6G) is its native integration with artificial intelligence (AI). The intelligent transformation of base stations is the foundation for 6G networks to realize the scenario of intelligent connectivity of everything. This paper analyzes the numerous requirements for new spectrum at the physical level, space-air-ground integration at the network level, and AI service integration at the business level in the full-scenario services of the future 6G era. It proposes a distributed autonomous network management and resource orchestration algorithm at the business level in 6G base stations. Firstly, the core algorithms are systematically elaborated, including local autonomous learning algorithms, group collaborative optimization algorithms, and simulation verification algorithms. Then, the implementation architecture of the algorithms is analyzed in detail, including distributed execution at the base station autonomy layer, collaborative enhancement at the regional coordination layer, and centralized intelligence at the global management layer. Finally, the evolution path from centralized intelligence to distributed intelligence, and then to swarm intelligence, is prospected. Through the research presented in this paper, a systematic reference framework is provided for the theoretical research and engineering practice of 6G base station intelligence, promoting the evolution of wireless technology.

## Keywords

6G; Artificial Intelligence; Distributed Autonomous Management; Resource Orchestration; Deep Reinforcement Learning;

## 基于 AI 的 6G 基站网络管理与资源编排研究

宋照红

华为技术有限公司, 中国·广东·深圳 518129

## 摘要

第六代移动通信技术(6G)核心特征是与人工智能(AI)的原生融合,基站的智能化转型是6G网络实现万物智联场景的基础。本文分析未来6G时代的全场景服务中物理层面的新频谱、网络层面的空天地一体化、业务层面的AI服务融合的众多需求,提出6G基站中业务层面的分布式自主网络管理与资源编排算法。首先系统阐述了核心算法,包括本地自主学习算法、群体协同优化算法、仿真验证算法;然后详细分析算法的实现架构,包括基站自治层的分布执行、区域协同层的协同增强、全局管理层的集中智慧;最后展望了从集中智能到分布智能,再到群体智能的演进路径。通过本文研究,为6G基站智能化的理论研究与工程实践提供系统性的参考框架,促进无线技术演进。

## 关键词

6G; 人工智能; 分布式自主管理; 资源编排; 深度强化学习

## 1 6G 基站引入 AI 的必要性

基站网络管理是指实时监控基站的运行状态、动态配置网络参数、智能诊断与预测性维护、安全防护。基站资源编排是指对频谱、计算、存储、功率等多维度资源的动态调度与优化配置技术。

未来面向 6G 时代的全场景服务,包括沉浸式扩展现实、全息通信、大规模数字孪生以及超可靠自主通信,网络面临着前所未有的复杂性、动态性和确定性需求。这种复杂性体

现在多个层面:在物理层面,太赫兹频段的引入带来了严重的传播损耗和波束失准问题;在网络层面,空天地一体化网络节点密集、动态多变且高度异构,传统的集中式解决方案难以满足其资源管理和运营需求;在业务层面,AI 服务本身成为网络承载的核心对象,其对算力、数据、模型和连接的融合需求,要求网络提供远超传统连接质量的服务质量保障。上述全场景智能服务要求 6G 基站(或更广义的接入网节点)必须具备在本地或小范围集群内进行自主决策与实时优化的能力,而不仅仅是执行中心下发的指令。这种基于 AI 的分布式自主网络管理与资源编排能力,是应对 6G 超高动态环境、实现毫秒级甚至微秒级响应、以及保障差异化 AI 服务质量的必然选择。

【作者简介】宋照红(1975-),男,中国山东人,硕士,高级工程师,从事信息通信技术、人工智能研究。

## 2 基于 AI 的网络管理与资源编排算法

基于 AI 的 6G 基站分布式自主网络管理与资源编排算法体系是由本地自主学习算法、群体协同优化算法和虚拟仿真验证算法构成的智能引擎。

### 2.1 本地自主学习算法：深度强化学习

在基站侧实现自主管理，通过部署深度强化学习 (DRL, Deep Reinforcement Learning) 智能体观察环境状态，通过深度神经网络输出动作；环境反馈即时奖励新状态，智能体基于奖励信号更新网络参数，迭代优化以最大化长期累积奖励。与需要大量标注数据的监督学习不同，DRL 智能体通过与环境的试错互动来学习策略，使其具备在复杂、不确定的无线环境中通过交互进行学习并做出最优决策的能力。

在 6G 基站中，DRL 的应用将更加深化和具体。例如，在太赫兹频段的智能波束管理与追踪中，基站可以作为一个 DRL 智能体，其状态空间 (State) 可包括用户位置估计、历史信道测量、环境感知信息 (如障碍物检测)；动作空间 (Action) 包括波束方向、宽度、发射功率的精细调整；奖励函数 (Reward) 则是信号干扰噪声比、吞吐量或能效的综合指标。通过在线或离线训练，基站能够学习到一套应对用户移动和障碍物遮挡的鲁棒波束控制策略，将波束失准的影响降至最低<sup>[1]</sup>。

### 2.2 群体协同优化算法：图神经网络与联邦学习

通过部署图神经网络 (GNN, Graph Neural Networks) 功能对图结构数据进行建模和推理。当多个基站、无人机中继或智能反射面需要协同工作时，它们构成了一个动态的图网络。例如在空天地一体化网络中，针对多无人机网络协同数据收集问题，通过基于 GNN 的分布式优化方法，每个节点 (基站或无人机) 可以将其本地观测 (如信道状态、队列长度) 视为图的节点特征，将节点间的无线链路关系视为边，通过 GNN 的消息传递机制，分布式地学习出全局优化的路由或资源分配策略，实现去中心化的协同<sup>[2]</sup>。

通过部署联邦学习 (FL, Federated Learning) 功能保障数据隐私的前提下，实现数据不出域、模型共训练。FL 通过中央服务器下发初始模型，各参与方基于本地数据独立训练，仅上传模型参数 (或梯度)；服务器聚合所有参数更新生成全局模型，再反馈给各参与方迭代优化，直至模型收敛。在 6G 网络中，不同基站可能服务于差异巨大的业务场景 (如工厂、车联网、城区)，其本地数据分布呈非独立同分布，直接集中训练会导致模型偏见。通过 FL，各基站可以在本地利用私有数据训练 AI 模型 (如信道预测模型、业务量预测模型)，仅将模型参数更新上传至区域协调器进行聚合。这种模式既保护了数据隐私和本地自治性，又能利用群体智慧提升全局模型的泛化能力，是构建可信任分布式智能的关键<sup>[1]</sup>。

### 2.3 集中仿真验证算法：预测与编排

通过部署网络数字孪生 (DT, Digital Twin) 功能构建

与物理网络同步的高保真虚拟镜像，可以在数字空间中进行预测和编排<sup>[3]</sup>。预测功能基于持续的数据驱动，DT 融合物联网等实时感知数据与历史数据，利用 AI 模型 (如 Transformer 混合模型) 分析网络流量、用户移动和设备状态等多维度参数的演化趋势。这使得 DT 不仅能实时映射网络状态，更能提前识别潜在的性能瓶颈、干扰热点及故障风险，实现从被动响应到主动干预的转变。编排功能则体现在仿真优化闭环中。DT 在数字空间中无损地预演复杂的资源调度、切片部署等策略。通过对比多种方案并优化参数，可以验证策略的有效性并规避风险。验证后的最优策略可被转化为具体的配置指令，一键下发至物理网络执行。

## 3 基于 AI 的网络管理与资源编排实现架构

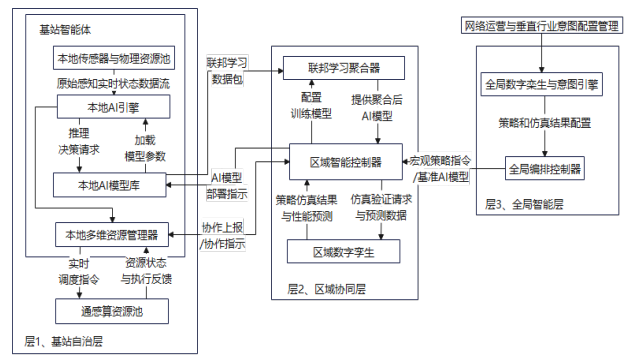


图 1 基于 AI 的分布式自主网络管理与资源编排实现架构

图 1 中架构采用“集中智慧、协同增强、分布执行”的分层自治设计，下面进行分析。

### 3.1 基站自治层 (分布执行)

基站自治层是 6G 网络的边缘智能核心节点，主要承担毫秒/微秒级的实时自主决策与执行。它通过本地 AI 引擎实时感知环境并做出决策，由多维资源管理器统一调度通、感、算等异构资源，以应对超动态业务需求，并在上层策略指导下与相邻基站协同，实现分布式自主运行。涉及的核心组件功能如下：

(1) 基站智能体，完整“感知-决策-执行-学习”处理的自主智能边缘节点。它通过本地 AI 引擎对通感算数据进行实时处理与决策，驱动多维资源管理器进行跨域联合调度，从而在极低时延内响应动态业务需求。同时，它能与相邻智能体直接协同处理局部干扰与切换，并通过联邦学习贡献经验以实现群体智能进化。其核心作用是将集中式的全局智慧转化为分布式的敏捷行动，从根本上解决集中式处理的时延瓶颈，成为实现网络自治、弹性与极致服务体验的基础单元。

基站智能体中的本地传感器和物理资源池完成数据采集：基站通过通信天线阵列、专用感知硬件 (如集成雷达) 以及连接的海量物联网终端，同步采集信道状态信息 (CSI)、干扰噪声谱、目标反射点云、业务数据包特征等多模态原始数据流。

基站智能体中的本地 AI 引擎驱动轻量化的卷积神经网络或信号处理算法,对数据进行实时清洗、对齐与特征提取,完成内嵌 DRL 等在线学习算法,根据本地实时观测(信道状态、用户位置、业务队列、计算负载)做出微秒/毫秒级决策(如功率调整、快速波束优化)。例如,将 CSI 转换为信道质量分布热图,从点云数据中实时识别并跟踪移动障碍物,或从业务流中快速分类出 URLLC、eMBB 等不同类型的数据包。

基站智能体中的本地模型库,完成存储和运行从区域层下发的或通过联邦学习获得的轻量化 AI 模型,用于本地推理。

基站智能体中的本地多维资源管理器,完成统一管理基站内部的频谱、天线、计算、存储、功率资源,并执行来自上层的协同策略。

(2) 通感算一体化资源池,作为基站自治层的硬件抽象,位于硬件抽象的最底层。它通过虚拟化技术将基站的通信射频单元、感知信号处理单元、AI 计算单元(如 CPU、NPU)等物理资源抽象化为一个可灵活调度的统一资源池。该资源池接收来自上层管理器的标准化调度指令(如空口物理资源分配或基站算力分配),并将其实时、精确地映射和解耦为具体的硬件控制命令(如配置 FPGA 波形、分配 GPU 内存),驱动物理硬件执行,同时将硬件的实时状态与执行结果反馈回上层,是实现软件定义基站和确定性能效保障的基石。

### 3.2 区域协同层(协同增强)

区域协同层主要完成策略分解与适配、协同优化求解、模型管理与分发功能。策略分解与适配即将宏观策略转化为适合本区域基站集群执行的协同策略(例如,为满足全市自动驾驶时延要求,规划出主干道路的专用波束切换序列和边缘计算节点部署图)。协同优化求解即运行基于 GNN 的协同算法,解决基站间的干扰协调、负载均衡、协同波束成形等多智能体问题。模型管理与分发即完成信道预测、业务量预测、异常检测等的轻量化 AI 模型的管理和分发。涉及的核心组件功能如下:

(1) 区域智能控制器,完成接收全局策略,并负责一个特定地理区域(如一个城市)或一个逻辑切片(如整个车联网切片)内的协调管理。

(2) 区域数字孪生,完成该区域网络的实时镜像,精度和更新频率远高于全局孪生,用于区域内的策略仿真和验证。

(3) 联邦学习聚合器,完成协调域内各基站进行联邦学习,聚合本地模型更新,生成更强大的区域共享模型后分发。其处理遵循标准联邦学习流程:首先,协调训练任务,向各基站分发统一的初始模型和训练指令。随后,安全接收与聚合模型更新,各基站在本地使用私有数据训练模型后,仅将加密的模型参数更新(梯度)上传至此聚合器。聚合器采用

如联邦平均等核心算法,将所有局部更新进行安全融合,生成一个更加强大、泛化能力更优的全局模型。最后,它将聚合后的新模型分发回所有参与基站,从而在不共享原始数据的情况下,持续提升整个区域基站群的 AI 能力,实现知识的共享与网络的整体智能化演进。

### 3.3 全局管理层(集中智慧)

全局管理层提供全局视野和长期优化指导,不参与实时控制,其输出的结果是面向区域或业务片的宏观策略包和基准 AI 模型。涉及的核心组件功能如下:

(1) 全局网络数字孪生与意图引擎:构建全网高保真虚拟镜像,接收并形式化解析来自运营商或垂直行业的业务意图。

(2) 全局编排控制器:基于孪生网络进行超远期、跨域的网络规划与宏观策略制定(如频谱划分、跨运营商漫游协议、重大灾害应急通信预案)。

## 4 演进

支持基于 AI 的分布式自主网络管理与资源编排的演进将经历三个阶段:辅助决策阶段,通过集中式 AI 方式完成数字孪生广泛应用于网络规划和算法仿真。分布式自治阶段,通过基站内置 FL、DRL 等 AI 加速单元,实现基站集群域内 AI 自治。群体智能阶段,通过网络中的每个节点(基站、终端、反射面)都部署高度自主的智能体。通过先进的分布式学习与共识机制,形成去中心化的群体智能,实现网络的自我演进与创造,最终达成智慧内生愿景。算法在向 AI 方向演进过程中,在实现功能基础上还要保证 AI 算法可靠性,解决 AI 自身的高复杂性与不确定性;以及要保证 AI 算法可行性,解决计算开销与基站侧有限的能耗、算力预算。

## 5 结论

为应对 6G 网络场景和服务的复杂性,人工智能在未来 6G 基站分布式自主网络管理与资源编排中的起到核心作用。通过深度融合深度强化学习、图神经网络、联邦学习等先进算法,以及将智能分布式地注入网络边缘,6G 基站将从被动的信号收发节点,演进为具备本地感知、实时决策、群体协同能力的边缘网络智能体,从而支撑起万物智联的 6G 时代。

### 参考文献

- [1] Subhankar Shome. An Extensive Review of THz Communication in 6G: Facilitating Technologies with Edge Computing and Native AI. Franklin Open, 2025(10).
- [2] 尚佳瑶等.空天地一体化网络智能自适应组网技术[J].人工智能,2025(1)
- [3] 丁海煜等.6G数字孪生网络分布式架构及关键技术[J].信息技术,2024(2)

# Digital Technology Empowers the Integration and Innovation Development of Intelligent Service and Consulting Business of Bidding Agency

Zhixin Fan

China Post Construction Consulting Co., Ltd., Nanjing, Jiangsu, 210000, China

## Abstract

In the telecommunications industry where centralized procurement and government-enterprise projects coexist, tendering agencies are transitioning from process-oriented services to data-driven and rule-based intelligent services, while clients increasingly demand compliance, confidentiality, and timely delivery. This paper examines tendering agency scenarios, addressing the reality of integrating AI into existing systems that still require manual verification. It identifies gaps between intelligent services and consulting delivery, proposing a convergence strategy encompassing productized delivery, auditable governance, scenario replication, knowledge base iteration, and human-machine collaboration. The study concludes that only by transforming intelligent outputs into verifiable consulting deliverables and embedding risk control throughout the process can integrated innovation achieve stable productivity.

## Keywords

digital technology; bidding agency; intelligent service; consulting business; innovative development

## 数字技术赋能招标代理智能服务与咨询业务融合创新发展的策略

范志新

中邮通建设咨询有限公司，中国·江苏南京 210000

## 摘要

在通信行业集中采购与政企项目并行的环境下，招标代理正在从流程型服务转向数据与规则驱动的智能服务，同时客户对合规、保密与交付时效的要求持续上升。本文以招标代理业务场景为主线，结合现有系统引入AI但仍需人工校核的现实，梳理智能服务与咨询交付之间的断点，并据此提出面向产品化交付、可审计治理、场景复制、知识库迭代与人机协作的融合策略。研究认为，只有把智能输出做成可验证的咨询交付物，并把风险控制内嵌到全流程，融合创新才能形成稳定产能。

## 关键词

数字技术；招标代理；智能服务；咨询业务；创新发展

## 1 引言

电子招标投标制度与平台体系不断完善，交易、公共服务与行政监督等平台分工已被制度化安排，这为在线化、数字化与智能化提供了基础。随着 AI 文本解析、规则校验与风险预警能力进入招采系统，招标代理开始以智能工具支撑标前分析、文件审核与评审组织，但在通信行业多专业、多地域与强合规的约束下，智能服务往往停留在功能叠加，难以直接转化为咨询成果。本文以通信行业招标代理的业务链为研究对象，基于文档所反映的系统应用问题，结合公开研究与政策要求，提出可落地的融合创新策略框架。

【作者简介】范志新（1990-），男，中国江苏东台人，本科，工程师，从事数字技术赋能招标代理实施研究。

## 2 数字技术赋能下招标代理智能服务与咨询业务融合的现状

通信行业招标代理机构普遍完成业务系统更新，招标文件线上编制与发布、投标文件电子递交、开评标组织与过程留痕可依托平台完成，但智能能力多以分散插件方式出现，尚未转化为咨询业务可直接交付的成果单元。研究表明，AI 功能已加入招标代理操作系统但仍处实验阶段，存在信息混乱、分析结果不理想且需要人为核实的问题，导致标前论证、评审组织与合规把关仍以人工复核为主。在项目执行中，资格审查、响应性核对、材料一致性检查等节点需要人员持续监督与纠偏，投入的人力与管理成本难以随系统上线同步收敛。在治理侧，廉政监督、法律风险管控、数据安全与保密被提出为刚性要求，但部分控制点仍停留在事后补录

或人工抽检,缺少贯穿全流程的可审计控制。同时,业务覆盖军队、运营商与政府采购等多领域,流程差异与监管口径要求系统在模块划分、权限边界和规则库上进行分域适配。在具体应用中,标前分析已尝试围绕运营商同类项目汇集预算、资格条件、中标人和中标价等信息,但数据口径与复用模板不统一,分析往往需要临时清洗与人工比对<sup>[1]</sup>。评审阶段证书与业绩材料存在被修改风险,机构更倾向于点对点核验并在会议现场集中处理,远程异地评审的链路稳定与会场安全也进一步提高了组织难度。

### 3 数字技术赋能招标代理智能服务与咨询业务融合创新发展的策略

#### 3.1 智能输出成果向咨询产品标准化闭环交付

要把智能能力转化为客户可核验的咨询交付,核心在于将系统输出按产品包固化为流程节点的标准件,并用数据与证据链把结论闭环到项目全过程。第一,机构应以通信采购常见的框架协议、集采批次与政企项目为主线建立咨询产品目录,将标前调研、标书编制校核、评审组织支撑拆解为固定交付单元,并为每一单元配置数据字典与口径说明,明确来源系统、取数规则、更新频次与责任人,使模型生成内容按目录自动落位并与电子化流转节点同步,并在目录层配置输入校验与缺失拦截,避免人工二次补录。第二,机构需要制定产品级验收清单,将同类项目对比、预算与价格区间、资格条件差异、否决项提示等字段设置为结构化必填项,同时要求每项结论自动挂接条款位置、附件页码、统一交易标识码或原始记录链接,并将留痕要求写入归档规则,便于审计核对与差错回溯。第三,交付链要与项目管理和归档流程打通,系统自动把产品包挂接到评审纪要、澄清答复、变更记录与归档目录,按招标投标电子文件归档规范补齐元数据、时间戳与责任字段,同时生成差异对照表与回滚点,保证每次修改可追溯到具体条款、处理人和审批路径。第四,对仍需人工把关的环节应实行风险分层复核与抽检机制,区分高风险条款、关键资质有效期与一般格式项,设置双人复核、抽检比例和升级阈值,并把抽取准确率、人工回退率、复核用时与问题关闭时效纳入质量看板,复核意见以结构化标签回写到模板、规则参数与提示语库,形成按月评审、发布、回滚的迭代流程。

#### 3.2 合规安全要求嵌入全流程可审计治理机制

在强监管与保密约束并存的通信采购场景中,招标代理推进智能服务与咨询融合时,应把合规安全前移为过程内生控制<sup>[2]</sup>。第一,机构应以电子招投标交易、公共服务与监督平台分工为骨架,把公告发布、专家抽取、评分汇总、澄清答复、异议复核与归档导出等动作拆解为可审计事件,统一记录操作者、时间戳、来源系统、业务单号、输入输出文件哈希与原文页码定位,并将事件流自动挂接到工单、版本库和评审纪要,保证任一结论都能回溯到条款证据与处理

记录。第二,针对监督缺位与廉政风险,系统应固化岗位分离与双人复核,将评审组织、文件修改、账号授权、权限变更与导出发布分配到不同角色,并对高风险操作启用二次确认、原因码与阈值告警,告警自动派单至项目经理与合规岗,闭环时补齐复核意见、差异清单与回滚点编号。第三,数据侧按敏感等级对标书、报价、专家信息与供应商资料分级,落实传输与落盘加密、密钥分权、最小权限与动态授权,建立密钥轮换与备份加密机制,结合等级保护基线固化日志留存、集中审计、备份频度与远程协同接入边界,异地评审启用水印、脱敏、打印与下载控制,交付外发同步走审批与脱敏校验。第四,面向AI能力,机构要建立模型与规则的变更审计与发布门禁,明确版本号、训练数据范围、提示模板、命中规则与置信度字段可追溯,智能输出须关联条款页码或数据来源链接并留存证据片段,敏感字段设置拒答与脱敏输出策略,按项目类型设定抽样复核比例与责任人,复核结论反推规则修订并记录生效时间。

#### 3.3 场景牵引能力模块规模化运营复制推广

为将智能服务由项目试用转入规模化运营,招标代理应以高频场景为入口,把规则、数据与流程能力封装为可复制的配置模块并形成投放门禁。第一,场景选择要对齐通信采购合规链条与差错成本,优先覆盖资格初筛、否决项核对、评审资料汇编、异地评审会务等环节,并把关键动作拆解为可审计事件,定义字段覆盖率、异常命中率、人工介入时长和复核通过率等门槛,同时为场景建立抽检样本库,规定随机复核比例与纠偏时限,并要求系统按电子招投标制度对交易、公共服务与监督平台的信息流进行对接,保证公告发布、专家抽取、评分结果与澄清答复等节点具备可追溯记录<sup>[3]</sup>。第二,模块拆分应遵循分域与可配置原则,将运营商集采、政企项目与政府采购的规则差异固化为参数包,参数包至少包含条款库版本、评分表模板、附件命名规则与保密级别标识,并把参数变更纳入版本库与回滚策略,支持自动校验与双人复核,且要求每项智能输出绑定条款编号与附件页码,避免项目现场临时改条款导致结论不可复核。第三,推广投放需建立灰度与流水线治理,先在单省或单专业试运行,通过指标门禁后再扩容,流水线覆盖配置发布、兼容测试、权限开通、归档导出与一键回退,并在线上前于沙箱跑通接口校验,防止跨系统口径漂移,同时按制度要求如实记录每一操作环节的时间、来源系统、网络地址与操作者信息,形成可归档证据链。第四,运营期应以统一看板监测模块调用量、失败原因与人工接管比例,按工单将问题归因到规则缺失、数据质量或流程不匹配,并建立周复盘共享机制,把结论固化为条款库增补、参数包调整、测试用例补齐和异地评审会务标准清单。

#### 3.4 数据知识库与规则引擎协同持续迭代策略

为把智能评审与标前咨询从经验驱动转为可复用能力,招标代理需要让数据知识库与规则引擎在同一治理框架下

持续迭代。第一，机构应以单项目全生命周期为颗粒度建立结构化台账，围绕预算口径、采购范围拆分、资格条件、评分条款、澄清变更、中标人及中标价等字段统一编码，并对计量单位、币种含税口径、时间粒度与版本号设定强制校验，配置缺失值与冲突值的处置规则，同时保留项目来源平台、公告链接与文件哈希，确保跨批次横向对比可追溯且可复算。第二，针对通信类投标文件以 PDF 为主且表格密集的特点，应采用文本抽取与表格结构还原联动的流水线，先按目录与标题层级定位证书、业绩、授权、关键承诺与人员信息，再对表格做行列识别与数据对齐，抽取结果需绑定原文页码、坐标与段落片段，并在评审界面提供一键回看与差异高亮，避免复核仍回到人工翻页。第三，规则引擎应优先覆盖否决项核对、资质有效期、人员社保与项目归属匹配、同机同 IP 异常、投标文件制作码一致、失信黑名单核查等高风险点，将规则拆成可配置条件、阈值与例外清单，支持按运营商集采、政企项目与政府采购加载不同规则包，并为每次命中生成可读解释、证据定位与处置建议，便于咨询人员形成可交付的校核结论。第四，知识库与规则引擎要建立纠错闭环，系统将人工复核的更正记录按字段类型、触发条款、错误原因与影响面自动归类，沉淀为新规则候选、字段映射修订或样本标注任务，并在脱敏样本与历史项目上进行小批量回放测试，形成可复用的测试用例库，量化误报率与漏报率后按变更流程完成评审、灰度发布、回滚点生成与版本对照，确保迭代节奏稳定且全过程可审计<sup>[4]</sup>。

### 3.5 人机协作分工与质量责任量化体系机制

在通信行业招标代理推进智能评审与咨询一体化时，机构需要把系统能力嵌入项目工序，并以责任可追溯方式完成分工。第一，机构应以电子招投标线上交易流程为边界，将投标文件的目录定位、条款要点抽取、格式检查与基础一致性校验配置为自动任务，抽取结果必须绑定原文页码和段落坐标，连同证据截图、数据来源、版本号写入可签收工单，咨询人员只对资格条件取舍、评分细则适配、澄清口径与风险提示进行复核签收，并在工单中标注依据条款，便于按交易平台与监督通道的留痕要求回看核对。第二，团队应把质量面板与项目节点评审联动，统一定义抽取准确率、人工回退率、复核用时、问题关闭时效、版本差异次数等指标口径，

并按项目经理、校核人、算法模块和数据接口分别归因，设定阈值触发抽样复核、二次校核或升级评审，复核结论需指向具体条款与证据位置，同时将纠偏动作写入变更单、回滚点与知识库更新记录，形成可执行的闭环处置<sup>[5]</sup>。第三，针对关键操作与敏感数据处理，系统应落实实名与强身份校验，在归档导出、权限变更、评审结论确认等环节启用双因素或人脸核验，并将登录、授权、导出范围、二次确认与校验结果写入不可篡改审计日志，日志保存期限、备份策略与访问权限按数据分级和最小授权执行，以满足监督取证与责任追溯要求。第四，机构应以复核记录为样本，按周汇总高频错误、触发条款与典型场景，形成短周期训练集、提示词模板与操作清单，训练材料在入库前完成脱敏与分级标识，并将清单嵌入下一批项目的必经校核步骤，要求人员回传处置结果与原因标签，系统据此更新规则库、抽取模型与模板版本基线。

## 4 结语

综上所述，通信行业招标代理的智能服务与咨询融合，关键在于把智能能力放进可验收的交付闭环，把合规安全、数据治理与责任分工做成流程内生约束，并以场景模块化实现跨区域复制。实践推进中，机构还需要同步完善参数包发布、版本回放测试与审计日志归档，提升异地评审环境下的网络与终端基线管理水平，确保智能输出在不同项目之间保持一致质量。

## 参考文献

- [1] 王庆,关伟,黄婷.管理创新和科技创新“双驱动”——优质高效招标代理服务模式探索与实践[C]//中国电力企业管理创新实践(2021年).2023.
- [2] 胡跃.招标代理与造价咨询一体化服务模式在工程管理中的实践效果分析[J].建筑与施工, 2025(10).
- [3] 任泽.构建招标投标行业支持人工智能应用的知识管理系统[J].招标采购管理, 2021(7):2.
- [4] 陈浩,王娜.浅析大模型技术在招投标领域的应用[J].招标采购管理, 2025(6).
- [5] 严建华.新形势下招标代理机构发展方向研究[J].建材发展导向, 2020, 18(11):1.

# Research on Key Technologies of Embedded Software Performance Improvement

Likun Wang

China Electronics Technology Group Corporation, 10th Research Institute, Chengdu, Sichuan, 610000, China

## Abstract

Embedded systems are extensively utilized in industrial control, smart manufacturing, automotive electronics, IoT, and defense equipment. The performance of their core—embedded software—directly impacts system real-time performance, reliability, and energy efficiency. With increasing device complexity and computational demands, software performance optimization has become a critical design consideration. This paper analyzes performance bottlenecks and focuses on key technologies including architecture optimization, scheduling mechanism improvements, memory management enhancement, parallel processing, and compilation optimization. Experimental validation on typical platforms demonstrates that multi-level optimization strategies significantly improve execution efficiency, reduce energy consumption, and enhance system stability. The study identifies software-hardware co-optimization, intelligent scheduling, and adaptive resource management as primary directions for future embedded software performance enhancement, providing theoretical foundations and technical support for the efficient and sustainable development of intelligent embedded systems.

## Keywords

embedded software; performance optimization; scheduling mechanism; memory management; compilation optimization; system coordination

## 嵌入式软件性能提升关键技术研究

王立锟

中国电子科技集团有限公司第十研究所, 中国·四川成都 610000

## 摘要

嵌入式系统广泛应用于工业控制、智能制造、汽车电子、物联网及国防装备等领域,其核心——嵌入式软件性能直接影响系统的实时性、可靠性与能效表现。随着设备功能复杂化与计算需求提升,软件性能优化成为设计关键。本文在分析性能瓶颈的基础上,重点研究体系结构优化、调度机制改进、内存管理强化、并行处理与编译优化等关键技术。通过典型平台实验验证,多级优化策略可显著提升执行效率、降低能耗并增强系统稳定性。研究指出,软硬件协同优化、智能调度与自适应资源管理是未来嵌入式软件性能提升的主要方向,为智能嵌入式系统的高效与可持续发展提供了理论依据与技术支撑。

## 关键词

嵌入式软件; 性能优化; 调度机制; 内存管理; 编译优化; 系统协同

## 1 引言

嵌入式系统以高可靠性、低功耗和实时响应为特征,广泛应用于航空航天、工业控制、医疗设备及智能家居等领域。随着人工智能、物联网和边缘计算的发展,嵌入式设备的计算复杂度显著提升,传统静态设计与固定调度模式难以满足多任务并发与能效需求。当前系统发展呈“智能化、网络化、协同化”趋势,任务调度效率低、内存管理不足和硬件利用率不高成为主要瓶颈。本文从性能优化角度出发,系统分析嵌入式软件的性能制约因素与改进路径,探讨关键技术

的实现机制与应用效果,为实现高效运算与低延迟响应提供理论支持与工程参考。

## 2 嵌入式软件性能瓶颈分析与影响因素

### 2.1 系统资源受限与硬件异构带来的挑战

嵌入式系统由于体积小、能耗低和成本控制严格,其硬件资源普遍受限。存储空间有限、处理能力不足以及功耗约束成为性能优化的核心瓶颈。随着多核 CPU、GPU 及 FPGA 等异构计算单元的引入,系统架构复杂度显著提升。不同计算单元的指令集体系、缓存访问方式和通信协议存在差异,任务在异构平台间迁移时容易产生数据同步延迟和资源竞争。若缺乏统一的任务调度与负载均衡机制,部分计算单元可能出现闲置或过载现象,从而降低整体系统吞吐率与

【作者简介】王立锟(1982-),男,中国山东泰安人,硕士,工程师,从事计算机应用及软件研发技术研究。

响应速度。如何在受限资源条件下实现异构计算单元间的高效协同，成为嵌入式系统优化的关键技术难点之一。

## 2.2 任务调度与实时性矛盾

嵌入式系统多任务并发常见，如数据采集、信号处理等。实时操作系统用基于优先级的抢占式调度保关键任务响应，但任务多或负载波动大时，频繁上下文切换与中断响应会产生额外延迟，高实时场景还易出现“优先级反转”。为平衡实时性与效率，需在任务划分等方面动态优化，引入自适应调度或 EDF 混合策略可提升响应确定性。

## 2.3 软件开发模式与编译链优化不足

传统嵌入式软件开发靠人工经验优化，手动调整代码难以适应复杂多核与异构平台。编译器优化层次不足，仅在语法和局部指令层面，未结合系统运行特征跨层次调优。同时，代码存在模块重复、算法低效等问题，导致 CPU 周期浪费和能耗上升。缺乏智能编译优化框架，代码无法精准适配硬件架构，成为性能提升的主要瓶颈。

## 3 体系结构与任务调度优化技术

### 3.1 多核架构下的任务并行化与负载均衡

多核架构提升了嵌入式系统计算并行性，让多任务实时处理得以实现。任务并行化把复杂计算拆成独立子任务，映射到不同核心执行，能缩短响应时间、提高系统吞吐量。但多核利用关键在于负载均衡，静态调度在系统初始化时划分任务，适用于任务模式固定的场景；动态调度则实时监控 CPU 占用率等参数，动态调整任务分配。近年提出的自适应任务迁移算法，通过检测线程状态与缓存一致性，在多核间迁移任务优化资源利用，可提升处理器平均利用率超 20%，降低任务响应抖动，保障系统高效运行。

### 3.2 实时操作系统的调度策略改进

实时操作系统（RTOS）是嵌入式系统实现任务可预测性和确定性的核心支撑。传统的基于优先级抢占调度（如 Rate Monotonic, RM）在高负载下易发生优先级反转与资源饥饿现象。改进方案引入最短截止时间优先（EDF）与能耗感知调度机制，依据任务的截止时间、执行时间与能耗模型动态调整优先级，从而在保持实时性的同时实现节能控制。部分 RTOS（如 FreeRTOS、RT-Thread）已在内核层集成自适应调度模块，能够根据任务特征与系统状态自动分配 CPU 时间片。实验数据显示，EDF 结合动态电压频率调节（DVFS）可在保证任务实时响应的前提下，将系统能耗降低约 15%，有效提升了系统整体的能效比与实时调度的灵活性。

### 3.3 任务通信与同步机制的轻量化设计

任务通信与同步机制直接关系到嵌入式系统的实时性与并行效率。传统的互斥锁与信号量机制虽能保证共享资源的访问安全，但频繁的任务阻塞与上下文切换会造成性能损失。为降低同步开销，现代嵌入式系统广泛采用无锁队列、

环形缓存与基于事件驱动的通信模式，实现非阻塞式数据交互。此类机制通过原子操作与内存屏障技术，减少锁竞争与等待时间。结合软件流水线与数据流模型，可实现多任务间的流水化执行与并行数据传输，进一步提升系统整体并发性能。研究表明，在高频任务交互场景中，轻量化通信机制可降低系统延迟约 25%，有效提高实时性与资源利用率，为复杂嵌入式应用提供高效的协同基础。

## 4 内存管理与存储访问优化策略

### 4.1 内存分配机制的动态优化

嵌入式系统在资源受限的环境下运行，其内存管理效率直接决定系统性能与稳定性。传统的静态分配方式缺乏灵活性，难以应对多任务并发与动态负载变化。动态内存分配机制通过实时调整内存块大小，实现高效的空间利用与碎片控制。Buddy 系统通过分区分块的合并与分裂策略快速响应内存请求，TLSF（Two-Level Segregated Fit）算法则在时间复杂度与碎片率之间取得平衡，适用于实时性要求高的场景。引入内存池与对象复用机制后，系统能够减少频繁申请与释放造成的内存抖动，显著提升分配效率。实验数据显示，优化后的动态管理机制可提升约 15% 的可用内存空间，同时降低碎片率与内存分配延迟，为嵌入式系统的稳定运行提供了高效支撑。

### 4.2 缓存管理与数据局部性优化

缓存机制在嵌入式系统性能提升中具有决定性作用。多级缓存结构通过层次化管理数据访问路径，减少主存访问次数与延迟。结合预取策略与替换算法优化，可进一步提升缓存的命中率与带宽利用率。软件层面，数据局部性优化是关键路径之一，通过分析程序的访问模式与数据依赖关系，对数据结构进行重排与块化处理，可显著改善空间与时间局部性。例如在嵌入式 DSP 系统中，对循环数组进行块化存储与分块访问，使得缓存命中率提升 20% 以上，从而有效降低主存访问能耗。通过软硬件协同设计，缓存优化不仅提高了系统的响应速度，也实现了功耗与性能的双重平衡。

### 4.3 非易失性存储访问加速技术

随着嵌入式设备对数据可靠性与持久化的需求增强，NAND Flash 与 eMMC 等非易失性存储成为系统性能优化的重点。由于 Flash 存储存在写入延迟大、擦除次数有限等特点，优化其访问路径尤为重要。通过异步 I/O 队列、写入合并及批量提交机制，可显著减少写入次数与等待时间，提升整体吞吐量。文件系统层面，采用页缓存与日志型文件系统（如 JFFS2、UBIFS）能有效规避频繁擦写带来的寿命损耗，并改善随机读写性能。研究结果表明，基于该技术的存储优化方案在典型嵌入式应用中可提升读写速率 25% 以上，同时延长 Flash 寿命约 30%，实现了性能、可靠性与能效的系统级平衡。

## 5 编译优化与软硬件协同加速技术

### 5.1 基于静态与动态分析的编译优化

现代嵌入式系统的性能优化离不开编译阶段的智能分析与指令级调度。静态分析通过控制流图与数据依赖分析识别热点代码、消除冗余计算与死代码，从而优化指令序列和内存访问路径。动态分析则依托运行时反馈信息（如分支命中率、函数调用频率）对编译策略进行实时调整，实现性能的持续自适应提升。LLVM 框架中的反馈导向优化（PGO）技术可在跨平台环境下实现多轮性能迭代优化。实验证明，PGO 结合循环展开、寄存器分配优化和函数内联技术，可在典型嵌入式场景中提升 10% ~ 25% 的执行效率，为系统在功耗与性能间取得平衡提供了可行途径。

### 5.2 指令级并行与硬件特性利用

嵌入式处理器通常具备单指令多数据（SIMD）与超长指令字（VLIW）等并行执行特性，充分利用这些特性是性能优化的关键。通过矢量化计算与流水线调度，可显著提高指令执行并行度，减少处理延迟。软件层面可结合编译器内建函数、手写汇编指令与指令调度算法，对关键计算模块进行针对性优化，以提升缓存利用率与内存访问效率。以 ARM Cortex-A 系列平台为例，针对 DSP 类任务采用 SIMD 优化与手工指令重排后，执行时间平均缩短约 20%。这种深度结合硬件特性的编译与算法级协同优化，为嵌入式应用在性能与能效之间提供了最优解。

### 5.3 软硬件协同优化策略

软硬件协同优化代表着嵌入式性能提升的系统化发展方向。通过在硬件架构中集成特定任务的协处理单元（如加密引擎、信号处理加速器、AI 推理单元等），可将计算密集型操作从主处理器卸载，显著减少核心负载与功耗。软件层面通过驱动程序与 API 接口实现任务分配与并行调度，并利用协同仿真平台进行系统级性能预测与验证。联合编译策略进一步保证了软硬件接口的一致性与时序同步。研究表明，在复杂信号处理与深度学习推理任务中，协同优化可提升系统吞吐率 30% 以上，延迟下降 20% 左右，为嵌入式系统的高性能与低功耗设计提供了可持续的技术路径。

## 6 能耗优化与性能评估体系

### 6.1 功耗感知的任务调度与资源管理

在能源受限的嵌入式设备中，功耗与性能之间的平衡是系统的核心问题。功耗感知任务调度通过对系统负载的动态感知与能耗建模，实现资源的按需分配与功率自适应控制。动态电压与频率调节（DVFS）技术能够根据实时任务负载与优先级调整 CPU 频率和电压，以最小能耗满足性能要求。同时，引入基于任务重要性与截止时间的能耗优化

模型，使关键任务优先获得高性能资源，而非关键任务采用低功耗模式运行。该策略可显著降低整体能耗 10%~30%，并避免系统因过度节能造成的性能退化，实现能效与任务时效性的双重最优。

### 6.2 性能监测与反馈调优机制

性能监测是嵌入式系统优化的基础环节。通过硬件性能计数器（PMC）采集缓存命中率、指令吞吐量、分支预测准确率等关键数据，结合 Perf、Valgrind 等软件分析工具，可实现系统性能的可视化与瓶颈定位。建立基于数据驱动的反馈调优机制，能够根据监测结果自动调整线程分配、缓存策略及功耗模式，形成“监测—分析—调优—验证”的闭环优化过程。该机制不仅提升了系统的自适应能力，也实现了在不同工作负载下的性能动态均衡，确保嵌入式设备在资源受限环境中持续保持高效运行。

### 6.3 面向场景的综合评估方法

嵌入式系统性能优化的科学性取决于场景化评估体系的构建。针对不同应用领域，应采用差异化指标体系：工业控制系统强调实时响应与可靠性；移动智能终端侧重功耗、热管理与续航能力；边缘计算节点需综合计算密度、通信延迟与能效比。通过引入层次化分析与多维指标加权模型，可实现从单指标性能向综合性能的量化评估。该方法不仅可准确反映优化策略的整体收益，还能为系统架构调整与算法改进提供数据依据，从而推动嵌入式系统在多样化应用场景下实现精细化、智能化和可持续优化。

## 7 结语

嵌入式软件性能优化是一项系统性工程，涵盖体系结构、调度机制、内存管理、编译优化与能耗控制等环节。研究表明，多层次协同优化可显著提升系统运行效率与稳定性。未来性能提升将依托人工智能驱动的自适应优化与软硬件协同设计，智能调度、能耗感知计算及安全可信机制的融合将推动嵌入式系统向高效、可靠、智能方向演进。实现性能与资源利用的动态平衡，不仅是技术创新的核心目标，也是支撑工业自动化、智慧城市与国防装备持续发展的关键路径。

### 参考文献

- [1] 韩宝国,朱平芳.产品智能化、嵌入式软件与中国工业增长[J].南京社会科学,2022,(03):32-41.
- [2] 刘维维.基于AADL的嵌入式软件可靠性建模与评估技术研究[D].南京航空航天大学,2017.
- [3] 倪思如.嵌入式软件可信性建模与验证技术的研究及其应用[D].南京航空航天大学,2016.
- [4] 栾图.嵌入式软件测试方法的研究[D].大连理工大学,2015.
- [5] 郭旺.嵌入式软件覆盖测试通用技术研究[D].西南大学,2015.