

doi: 10.7690/bgzd.2025.09.004

基于 SOA 的铁路应急通信中视频压缩算法

张 瑞, 包文艳

(国能包神铁路集团有限责任公司信息技术服务分公司, 山西 忻州 034000)

摘要: 为提升铁路应急通信中的视频压缩能力, 提出一种基于面向服务架构(service oriented architecture, SOA)的铁路应急通信中视频压缩算法。构建 SOA 的铁路应急通信模型, 通过主成分分析(principal component analysis, PCA)算法初次压缩 AI 视频原始数据, 保留有价值的特征向量后, 采用多级树集合分裂(set partitioning in hierarchical trees, SPIHT)压缩算法将初次压缩后 AI 视频图像分解成多个小波系数, 经小波系数压缩后, 通过哈夫曼编码输出压缩后 AI 视频比特流, 经逆哈夫曼编码和逆 SPIHT 压缩算法完成压缩后 AI 视频图像重建, 在信息服务层和 SOA 架构层支持下, 通过应用层查看压缩后 AI 视频。实验结果表明: 该算法的平均视频压缩比为 48.34, 在不同压缩比下, 该算法压缩后 AI 视频图像的 SSIM 值均在 0.955 以上、PSNR 值均高于 37.13, 可有效提升 AI 视频图像质量且压缩能力较强。

关键词: SOA 架构; 铁路应急通信; 视频压缩算法; AI 视频; PCA 分析; SPIHT 压缩算法

中图分类号: TP751 **文献标志码:** A

Video Compression Algorithm in Railway Emergency Communication Based on SOA

Zhang Rui, Bao Wenyan

(Information Technology Service Branch of Energy Baoshen Railway Group Co., Ltd., Xinzhou 034000, China)

Abstract: In order to improve the video compression capability in railway emergency communication, a video compression algorithm based on service oriented architecture (SOA) is proposed. A railway emergency communication model based on SOA is constructed, and the original data of AI video is compressed by principal component analysis (PCA) algorithm for the first time, and the valuable feature vectors are retained. An AI video image which is compress for that first time is decomposed into a plurality of wavelet coefficient by adopting a set partitioning in hierarchical trees (SPIHT) compression algorithm, and the AI video image is output to a compressed AI video bit stream through Huffman code after the wavelet coefficients are compressed, The AI video image is reconstruct after bee compressed by that inverse Huffman coding and the inverse SPIHT compression algorithm, and the AI video after bee compressed is viewed through the application layer under the support of the information service layer and the SOA architecture layer. Experimental results show that the average video compression ratio of the proposed algorithm is 48.34, under different compression ratios, the SSIM values of AI video images compressed by the proposed algorithm are all above 0.955, and the PSNR values are all above 37.13. The proposed algorithm can effectively improve the quality of AI video images and has strong compression capability.

Keywords: SOA architecture; railway emergency communication; video compression algorithm; AI video; PCA analysis; SPIHT compression algorithm

0 引言

由于铁路列车在行驶的过程中, 会受多种因素的影响^[1-2], 可能会发生紧急情况, 需要及时处理该情况, 否则会影响列车和人员的安全。铁路应急通信在铁路安全预警中至关重要, 通信速率直接影响铁路安全管理部门对铁路发生紧急情况时的处理速度^[3], 当通信速率较低时, 可能会延误救援时间。通过研发铁路应急通信模型, 提高铁路应急通信的能力。在铁路监控区域安装 AI 摄像头采集铁路列车运行和铁路周边运行环境的 AI 视频数据, 铁路

安全管理部门通过客户端查看采集 AI 视频数据, 及时发现潜在的危险^[4-5]。在 AI 视频数据传输中, 因视频内存比较大, 可能导致通信传输时间较长; 因此, 研究铁路应急通信中视频压缩算法具有积极的意义。目前, 相关学者已经开始对该课题展开深入研究。李林等^[6]提出自适应时频压缩算法, 通过该算法分解视频信号, 并采用熵值法计算视频信号参数, 依据该参数值完成铁路应急通信中 AI 视频压缩, 但该算法求解过程比较复杂, 导致视频压缩时效性差。蔡于涵等^[7]提出 HEVC 和帧率变换压缩

收稿日期: 2024-09-15; 修回日期: 2024-10-10

第一作者: 张 瑞(1985—), 男, 山西人。

算法, 该算法对采集铁路应急通信中 AI 原始视频实施抽帧处理, 提取视频流中相关矢量, 通过帧率变换实现铁路应急通信中 AI 视频压缩。虽然该算法的应用效果较好, 但在帧率变换过程中可能会出现视频细节数据的丢失现象, 不利于后期视频分析。

针对上述算法的局限性, 应研究基于 SOA 的铁路应急通信中视频压缩算法, 提高视频压缩效率。面向服务架构(SOA)具有分层组织形式, 可按需实施信息服务, 被广泛应用在服务领域; 因此, 笔者将 SOA 应用在铁路应急通信中, 利用结合主成分分析(PCA)和多级树集合分裂(SPIHT)算法的压缩算法实现铁路应急通信 AI 视频的压缩。

1 铁路应急通信中视频压缩算法

1.1 SOA 的铁路应急通信模型

构建基于 SOA 的铁路应急通信模型, 利用契约与接口实现铁路应急通信的应用程序服务之间的数据交互。SOA 的铁路应急通信模型总架构如图 1 所示。

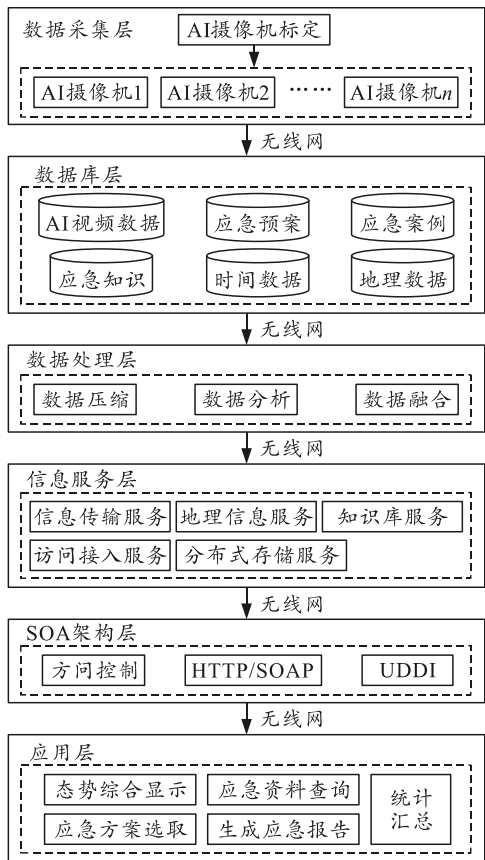


图 1 SOA 的铁路应急通信模型总架构

由图 1 可知, SOA 的铁路应急通信模型总架构主要由数据采集层、信息服务层、SOA 架构层等组成。数据采集层采用 AI 摄像机标定方法完成 AI 摄

像机参数标定后, 在铁路监测区域布置多台 AI 摄像机采集 AI 视频^[8]; 将采集的 AI 视频存储在数据库层, 经无线网将 AI 视频数据传输至数据处理层实施数据处理^[9], 利用 PCA 分析和 SPIHT 压缩算法实现铁路应急通信 AI 视频的压缩, 得出压缩 AI 视频, 将压缩 AI 视频传输至信息服务层; 信息服务层主要负责提供相关服务; SOA 架构层的 HTTP/SOAP 协议接口实现与应用层联系, 该层具备访问控制功能; 应用层通过协议接口, 查看压缩后 AI 视频和相关数据分析报告, 选取合适应急处理方案, 提高铁路应急通信传输效率^[10]。

1.2 PCA-SPIHT 视频压缩算法

在数据处理层的数据压缩单元, 采用 PCA-SPIHT 视频压缩算法对采集铁路应急通信的 AI 视频实施压缩, 去除 AI 视频中冗余信息, 提高 AI 视频传输速率。PCA-SPIHT 视频压缩算法流程如图 2 所示。

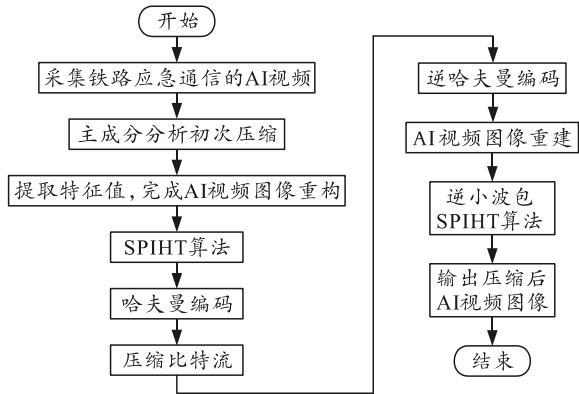


图 2 PCA-SPIHT 视频压缩算法流程

由图 2 可知, PCA-SPIHT 视频压缩算法流程: 通过 PCA 算法对采集铁路应急通信的 AI 视频原始数据实施初次压缩, 去除不相关 AI 视频图像数据, 提取相关特征向量后; 采用 SPIHT 压缩算法将初次压缩后 AI 视频图像分解成多个小波系数, 对小波系数实施压缩后; 通过哈夫曼编码对其进行编码, 输出压缩后铁路应急通信的 AI 视频比特流; 经逆哈夫曼编码和逆 SPIHT 压缩算法完成压缩后 AI 视频图像重建, 并输出压缩后 AI 视频图像, 加快铁路应急通信中 AI 视频图像传输速度。

1.2.1 PCA 的 AI 视频初次压缩

PCA 算法流程:

第 1 步: 设置用 $\alpha=\{\alpha_1, \alpha_2, \cdots, \alpha_p\}$ 表示采集原始铁路应急通信的 AI 视频数据, 具体矩阵表达式为:

$$\alpha = \{\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_p\} = \begin{bmatrix} \alpha_{11} & \alpha_{12} & \dots & \alpha_{1p} \\ \alpha_{21} & \alpha_{22} & \dots & \alpha_{2p} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \alpha_{n1} & \alpha_{n2} & \dots & \alpha_{np} \end{bmatrix}. \quad (1)$$

第 2 步: 将原始铁路应急通信的 AI 视频数据实施标准化操作, 得出标准化矩阵 S , 其表达式如下:

$$S_{ij} = \left(\alpha_{ij} - \sum_{i=1}^n \alpha_{ij} / n \right) / \left(\sum_{i=1}^n \left(\alpha_{ij} - \sum_{i=1}^n \alpha_{ij} / n \right)^2 / (n-1) \right). \quad (2)$$

式中: $i=1, 2, \dots, n$; $j=1, 2, \dots, p$ 。

第 3 步: 构建 S 相关系数矩阵, 其公式为:

$$R = S * S^T. \quad (3)$$

第 4 步: 求解相关系数矩阵特征, 其表达式如下:

$$|R - \varepsilon I_p| = 0. \quad (4)$$

式中: p 为图像 I 的特征值; ε 为常量。

第 5 步: 按照特征值求解出主成分, 主成分求解公式如下:

$$\sum_{i=1}^m \varepsilon_i / \sum_{i=1}^p \varepsilon_j \geq 85\%. \quad (5)$$

式中 m 为主成分维度。

第 6 步: 为降低 AI 视频数据维数^[11-13], 依据 m 维度对原始铁路应急通信的 AI 视频数据实施投影, 完成降维。

通过 PCA 对 AI 视频进行初步压缩, 其压缩过程如图 3 所示。

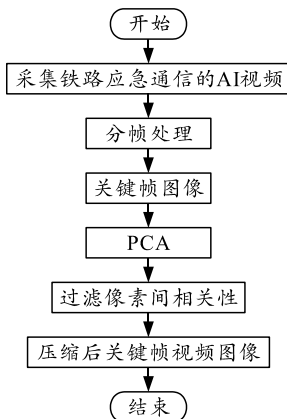


图 3 PCA 的 AI 视频初步压缩过程

由图 3 可知, PCA 的 AI 视频初步压缩过程如下:

1) 通过 AI 摄像头采集原始铁路应急通信的 AI 视频数据^[14], 去掉第一次和最后一次采集的原始铁路应急通信的 AI 视频数据, 得出需要压缩的铁路

应急通信的 AI 视频;

2) 通过分帧处理铁路应急通信的 AI 视频得出关键帧 AI 视频图像;

3) 沿着关键帧 AI 视频图像行与列方向, 将像素转化为类似式(1)矩阵;

4) 为降低像素间相关性^[15], 利用 PCA 求解主成分维度, 按照该维度得出 AI 视频图像子空间, 提取相关特征向量, 实现 PCA 的 AI 视频初步压缩。

1.2.2 SPIHT 压缩算法的 AI 视频二次压缩

在经过 PCA 对铁路应急通信的 AI 视频实施初步压缩后, 提取相关特征向量, 重构 AI 视频图像。利用 SPIHT 压缩算法对铁路应急通信的 AI 视频再次进行二次压缩。

采用小波分解铁路应急通信的 AI 视频图像数据, 提取小波系数。AI 视频图像数据结构如图 4 所示。

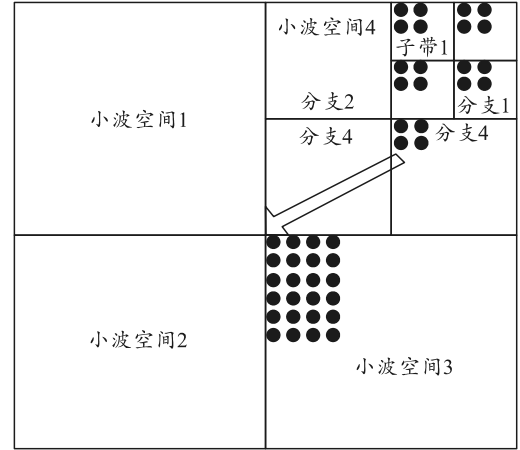


图 4 AI 视频图像数据结构

由图 4 可知: AI 视频图像数据结构为空间定位树, AI 视频图像数据分成 4 级小波空间, 同时各系数包括 4 个分支, 用 (a, b) 描述系数位置, 行索引用 a 描述, 列索引用 b 描述。

设置系数后代集合用 $O(a, b)$ 描述, 其具体公式如下:

$$O(a, b) = \{(2a, 2b), (2a, 2b+1), (2a+1, 2b+1)\}. \quad (6)$$

当 (a, b) 在分支 1 子带 1 中, $O(a, b)$ 表达式如下:

$$O(a, b) = \{(a, b+\omega l), (a+hl, b+hl)\}. \quad (7)$$

式中: ωl 为高度; hl 为宽度。

子孙节点数量表达式如下:

$$\sum_{l=1}^c 4^l = 4(4^{c-1} - 1)/3. \quad (8)$$

式中 c 为层数。

坐标集特性是通过分析重要性函数得出, 阈值用 2^n 描述, 该函数表达式如下:

$$Z_x(l)=\begin{cases} 0, & \text{其他} \\ 1, & \max |d_\beta| \geq 2^n \end{cases} \quad (9)$$

式中 d_β 为小波系数。

对小波系数实施压缩后，采用哈夫曼编码对其进行编码，输出压缩后铁路应急通信的 AI 视频比特流。经逆哈夫曼编码和逆 SPIHT 压缩算法完成压缩后 AI 视频图像重建，完成 AI 铁路应急通信的视频压缩。

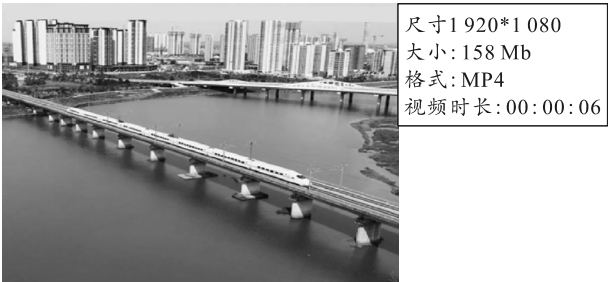
2 实验分析

为验证本文中算法的压缩性能，选取某地区铁路局管理的铁路作为试验对象。该铁路局管理总线路长度为 18 161.56 km，无缝铁路总长度为 7 804.222 km，其中共有支干线路 56 条、铁路枢纽中心 7 个、机车 1 528 台、动车组 17 列、车站 825 个。为提高该地区铁路局的应急管理，将本文中算法应用在某地区铁路局，用于铁路应急通信中 AI 视频压缩。

采用 AI 摄像机采集铁路运行中 AI 视频，选取 AI 视频集中 8 张 AI 视频作为测试数据，测试数据代表如图 5 所示，测试数据如表 1 所示。



(a) 近景高铁运行 AI 视频图像



(b) 远景高铁运行 AI 视频图像

图 5 部分测试数据

选取视频压缩比作为评价算法压缩性能指标，视频压缩比越高，表示压缩能力越强。试验对比算法分别为文献[6]自适应时频压缩算法、文献[7]HEVC 和帧率变换压缩算法，分别采用 3 种算法对试验数据进行压缩，统计 3 种算法的视频压缩比，其结果如表 2 所示。

表 1 测试数据

名称	图像尺寸	图像大小/MB	格式	视频时长/s
AI 视频图像 1	1 920*1 080	136	MP4	5.1
AI 视频图像 2	1 920*1 080	158	MP4	6.3
AI 视频图像 3	720*680	125	MP4	4.2
AI 视频图像 4	720*680	120	MP4	5.5
AI 视频图像 5	520*690	96	MP4	3.6
AI 视频图像 6	520*690	98	MP4	10.2
AI 视频图像 7	980*1 028	112	MP4	11.6
AI 视频图像 8	980*1 028	116	MP4	12.1

表 2 3 种算法的视频压缩比

名称	本文中算法	文献[6]算法	文献[7]算法
图像 1	48.25	24.68	39.68
图像 2	48.69	23.69	38.56
图像 3	47.68	29.68	38.92
图像 4	48.63	29.48	37.96
图像 5	47.72	27.63	39.65
图像 6	49.98	27.23	36.25
图像 7	47.89	24.69	32.63
图像 8	47.89	25.89	36.59

分析表 2 可知：本文中算法的平均视频压缩比为 48.34，而文献[6]算法的平均视频压缩比为 26.62、文献[6]算法的平均视频压缩比为 37.53。经过对比可知：本文中算法的视频压缩比明显高于其他 2 种算法，说明本文中算法采用 PCA 算法去除铁路应急通信的 AI 视频冗余数据，经 SPIHT 压缩算法再次压缩 AI 视频，采用哈夫曼编码对其进行编码，输出压缩后铁路应急通信的 AI 视频比特流。经逆哈夫曼编码和逆 SPIHT 压缩算法完成压缩后 AI 视频图像重建，并输出压缩后 AI 视频图像，提高 AI 视频压缩能力。

选取结构相似性 (SSIM)、峰值信噪比 (PSNR) 作为评价算法图像质量的指标。在压缩比分别为 15:1、25:1、45:1 时，统计本文中算法对测试数据实施压缩处理后图像的 SSIM 和 PSNR，其结果如表 3 所示。

表 3 不同压缩比下本文中算法的 SSIM 和 PSNR

名称	压缩比 15:1		压缩比 25:1		压缩比 45:1	
	SSIM	PSNR	SSIM	PSNR	SSIM	PSNR
图像 1	0.967	39.25	0.963	39.14	0.961	39.02
图像 2	0.968	39.12	0.962	39.01	0.962	38.89
图像 3	0.961	38.96	0.955	38.85	0.955	38.73
图像 4	0.963	38.25	0.957	38.14	0.957	38.02
图像 5	0.968	37.37	0.962	37.25	0.962	37.13
图像 6	0.975	39.27	0.969	39.15	0.969	39.03
图像 7	0.962	38.22	0.956	38.10	0.956	37.98
图像 8	0.979	37.96	0.968	37.84	0.965	37.72

分析表 3 可知：随着压缩比升高，本文中算法压缩后 AI 视频图像的 SSIM 和 PSNR 呈现小幅度下降趋势。其中压缩后 AI 视频图像的 SSIM 值均在

0.955 以上,说明经本文中算法压缩后的 AI 视频图像的结构相似性较高;压缩后 AI 视频图像的 PSNR 值均高于 37.13,说明经本文中算法压缩后的 AI 视频图像的像素误差较小;综合 2 个指标结果可知,本文中算法压缩处理后的 AI 视频图像质量并未降低。

采用本文中算法对试验数据实施压缩后,得出 AI 视频图像的大小,如图 6 所示。

结合表 1 中数据和图 6 可知:原始 AI 视频图像的大小均高于 96 MB,在采用本文中算法压缩处理后,得出 AI 视频图像的大小均低于 35 MB,说

明本文中算法可有效压缩 AI 视频图像的大小,便于 AI 视频图像的传输。

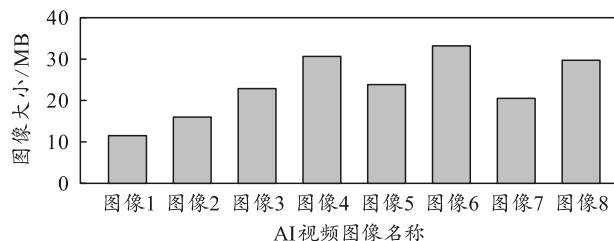


图 6 压缩后 AI 视频图像的大小

铁路管理人员在客户端查看某台动车运行的 AI 视频监控界面,如图 7 所示。



图 7 SOA 铁路应急通信平台界面

分析图 7 可知:铁路管理人员通过查看某台动车运行 AI 视频,可 24 h 监控动车运行情况,经分析可知此时该路段未发生异常情况,动车运行良好。同时视频传输速率为 1~2 Mbps,视频传输时间为 0.01~0.10 s,说明经本文中算法压缩后 AI 视频传输速度快,且传输时间短,其应用效果较好。

3 结论

铁路应急通信中, AI 视频作为铁路应急管理部门进行铁路应急监管核心数据, AI 视频传输速度直接影响铁路应急监管能力;因此,笔者研究基于 SOA 的铁路应急通信中视频压缩算法,提升 AI 视频传输速度同时并未影响 AI 视频的质量。实验结果表明:本文中算法应用效果较好,铁路管理人员通过客户端实时查看某台动车组运行视频;且经本文中算法压缩后视频传输速率为 1~2 Mbps,视频传输时间为 0.01~0.10 s。

参考文献:

- [1] 徐磊. 深圳都市圈城际铁路调度通信系统研究[J]. 城市轨道交通研究, 2022, 25(11): 27-31.
- [2] 杜宇, 钟昊, 李明春. 基于高通量卫星的铁路应急指挥通信系统[J]. 中国安全科学学报, 2021, 31(S1): 187-191.
- [3] 潘鹏飞, 姚晔, 王慧. 相同编码参数 HEVC 视频重压缩检测[J]. 中国图象图形学报, 2020, 25(5): 879-889.
- [4] 易银城, 冯桂. 抗重压缩编码的 3D-HEVC 视频零水印算法[J]. 信号处理, 2020, 36(5): 778-786.
- [5] 叶霞, 刘睿珩, 许飞翔, 等. 基于 SOA 和本体的指挥信息系统数据集成研究[J]. 火力与指挥控制, 2022, 47(3): 136-143.
- [6] 李林, 王林, 韩红霞, 等. 自适应时频同步压缩算法研究[J]. 电子与信息学报, 2020, 42(2): 438-444.