

PNG 图像编解码器低码率传输差错 控制系统设计

陈镜伊

(中国人民解放军 92941 部队 第 150 所, 辽宁 葫芦岛 125000)

摘要: 色域水平过于集中导致主机元件错误取样图像信息, 从而造成图像信息的错误传输问题; 为避免上述情况的发生, 设计 PNG 图像编解码器低码率传输差错控制系统; 从图像信息采集模块、编码模块、解码模块、传输模块 4 方面设计 PNG 图像传输差错控制系统的硬件模块; 在编解码器架构体系中, 利用已生成图像信息编解码训练集中的数据参量, 定义码率重构函数, 重构处理图像编解码器的码率; 在此基础上, 通过 PNG 图像块拼接以及图像信息的平均绝对误差损失计算, 确定传输差错控制参量的取值范围, 由此完成 PNG 图像编解码器低码率传输差错控制系统的设计; 实验结果表明, 设计系统可使 PNG 图像的色域分散程度最大值达到 95.5%, 不会因色域水平过于集中而导致主机元件错误取样图像信息的问题, 能够实现对图像信息传输差错的有效控制。

关键词: PNG 图像; 编解码器; 低码率; 传输差错; 信息训练集; 重构函数; 平均绝对误差损失

Design of Low Bit Rate Transmission Error Control System for PNG Image Codecs

CHEN Jingyi

(The 150th Research Institute, Unit 92421, PLA, Huludao 125000, China)

Abstract: The color gamut level is too concentrated, which leads to incorrect sampling of image information by the host components, resulting in incorrect transmission of image information. To avoid the above situation, a low bit rate transmission error control system for the portable network graphics (PNG) image codecs is designed. The hardware module of this PNG system is composed of four aspects: image information acquisition module, encoding module, decoding module, and transmission module. In the encoder-decoder architecture system, the data parameters on the generated image information encoder-decoder training set are used to define a bit rate reconstruction function and reconstruct the bit rate of the image encoder-decoder. On this basis, by concatenating the PNG image block and calculating the average absolute error loss of image information, the control parameter range of the transmission error is determined, thereby achieving a low bit rate transmission error control system for PNG image codecs. Experimental results show that the designed system can achieve a maximum color gamut dispersion of 95.5% in the PNG images, without the excessive concentration of color gamut levels resulted in the incorrect sampling of image information by host components. It can effectively control image information transmission errors.

Keywords: PNG image; encoder-decoder; low bit rate; transmission error; information training set; reconstruction functions; average absolute error loss

0 引言

PNG 是一种便携式的网络图形, 采用无损压缩算法对位图格式进行命名, 同时支持 RGB、灰度、索引 3 种颜色方案以及 Alpha 通道的特殊属性。在互联网空间中, PNG 图像的设计目的是替代 TIFF 与 GIF 格式的

图形, 并在原有图像上增加一些额外属性的描述信息, 从而使得画面的完整性程度大幅提升。实施像素压缩的过程中, PNG 图像使用从 LZ77 派生的无损数据定义具体的压缩原则, 且可以联合 S60 程序、网页或 JAVA 程序, 生成体积更小的图像压缩文件^[1]。PNG 格式的网络图形具有 8 位、24 位、32 位 3 种不同的定义形式。

收稿日期:2024-02-02; 修回日期:2024-03-13。

作者简介:陈镜伊(1993-),女,大学本科,工程师。

引用格式:陈镜伊. PNG 图像编解码器低码率传输差错控制系统设计[J]. 计算机测量与控制, 2025, 33(11):158-165.

其中, 8 位图像格式支持 alpha 透明、索引透明两种信息定义标准; 24 位图像格式只支持不透明的信息定义标准; 32 位图像格式虽然也不支持透明的信息定义标准, 但却在 24 位的基础上, 增加了 8 位不同的透明通道, 因此该类型图像的显示透明程度更高。

编解码器低码率传输通过降低编码码率水平, 控制信息传输量, 在图像传输中, 能够有效降低带宽需求, 从而提高信息传输效率。以 PNG 图像为例, 刘叙含^[2]等提出了一种基于离散小波变换的图像压缩感知应用在信源信道联合编码系统中的方法, 通过双重不等差错保护和码率动态分配机制, 实现了资源优化分配和良好的端到端通信效果。在进行信道编码部分的动态码率分配时, 没有给出具体的误码率分析, 无法准确评估不同码率下的传输性能。这可能导致在实际应用中存在传输差错的问题。高潭^[3]等提出了一种针对水声通信系统的 OFDM-MFSK 调制结合差错控制编码的方法, 通过在传输数据的同时调制子载波的相位以传输另一路编码, 并利用编码的差错图样与校验码实现数据的纠错, 以降低水声通信系统的实现成本, 适用于低速率水声通信系统的设计。然而, 水声信道具有多路径衰落和多普勒效应等特点, 这些会导致信号的时延扩展和频率偏移。PATEL, SIMRAN C^[4]等采用调制熵编码和添加保护间隔的方法, 减少三维视频在无线信道传输过程中的多级误差, 提高传输性能和视频质量。但研究中未明确阐述调制熵编码和保护间隔技术的具体原理和工作机制。这样可能导致读者在理解方法时存在困惑, 并难以判断其在传输差错控制中的实际有效性。RAUFMEHR, FARHAD^[5]等提出了一种基于多层感知器神经网络的视频比特率控制器, 用于实时视频传输应用中的缓冲控制和比特率调整, 以满足实时应用的要求。然而, 不同的实时应用可能具有不同的实时性要求、带宽限制和缓冲控制策略, 因此较难评估提出的视频比特率控制器是否能够适用于各种实际场景的传输差错控制需求。

对于 PNG 图像而言, 色域度也可以叫做色彩空间, 是对特定像素颜色进行编码的方式, 也特指单位图像区域中所包含的色彩总和。域是一个数学概念, 可以用来描述图像中的色彩范围, 在计算机图像处理领域中^[6], 色域就是颜色像素的完全性子集。在低码率传输条件下, 图像编解码器更注重对像素颜色的区分。通常情况下, 只有色域相同或相近的像素节点才可能属于同一个颜色集合, 且同一图像中有可能存在多个满足同一定义标准的颜色编码集合。因此以分散色域度为目标, 设计一种新型的 PNG 图像编解码器低码率传输差错控制系统, 以确保图像传输的可靠性和稳定性。

1 硬件模块设计

PNG 图像传输差错控制系统的硬件模块单元由图

像信息采集模块、编码模块、解码模块、传输模块四部分组成。

图像信息采集模块负责从源图像中获取原始图像数据。它通常包括图像传感器、图像采样器和图像预处理器等组件。图像传感器用于将光信号转换成电信号, 图像采样器负责对电信号进行采样, 而图像预处理器则可以对图像进行校正、降噪和增强等处理, 以提高图像质量。

编码模块将采集到的图像数据进行压缩编码, 以减小图像数据的体积, 降低传输所需的码率。在设计 PNG 图像编解码器的情况下, 编码模块通常使用 PNG 编码算法来对图像进行压缩编码。PNG 编码算法采用无损压缩技术, 可以保持图像的完整性和质量。

解码模块负责对接收到的编码数据进行解码, 还原为原始的图像数据。解码模块需要实现对应的解码算法, 与编码模块相对应。在 PNG 图像传输差错控制系统中, 解码模块需要正确地解码 PNG 编码数据, 并还原为原始的 PNG 图像数据。

传输模块负责将经过编码的图像数据传输至目标设备。传输模块可以通过网络传输或其他传输方式将编码后的数据传递给接收端。在传输过程中, 传输模块需要具备传输差错控制的功能, 以保证传输的可靠性和稳定性。这包括错误检测与纠正机制, 如差错编码和重传机制, 以应对传输过程中可能出现的丢包、噪声和传输错误等问题。

本章节针对上述模块的具体设计展开说明。

1.1 图像信息采集模块设计

针对 PNG 图像所设计的信息采集模块, 通常包含多个图像传感器, 以用于捕捉满足编解码器转码需求的图像信息。这些传感器元件能够将像素信号转换为数字信号, 并可以借助 A/D 组件, 创建图像信息捕获窗口, 从而实现对编码后信息参量的低码率显示与表达^[7]。传感器单元与信号转换机制之间存在图像信息的单向传输关系, 各个传感器取样所得的图像信息在经过汇总处理后, 进入信号转换机制中, 以供图像信息捕获窗口的调取与利用。信号转换机制由 A/D 组件和 CDMA 编解码器装置共同组成, 前者可在混合数据中将满足 PNG 图像定义标准的像素信息筛选出来, 而后者则主要负责定义具体的图像信息编码与解码原则^[8]。图像信息捕获窗口作为信号转换机制的下级执行结构, 可将取样所得的 PNG 图像信息反馈至模块单元的核心采集设备之中, 且整个信息传输流程只需要保障捕获窗口与 CMOS 器件的持续开放状态, 就可以完成对 PNG 图像的低码率传输。图像信息采集模块的核心设备单元由 CMOS 器件和 CCD 芯片组成, 可在低码率条件下, 完成对 PNG 图像信息的针对性采集。具体的 PNG 图像信息采集模

块结构如图 1 所示。

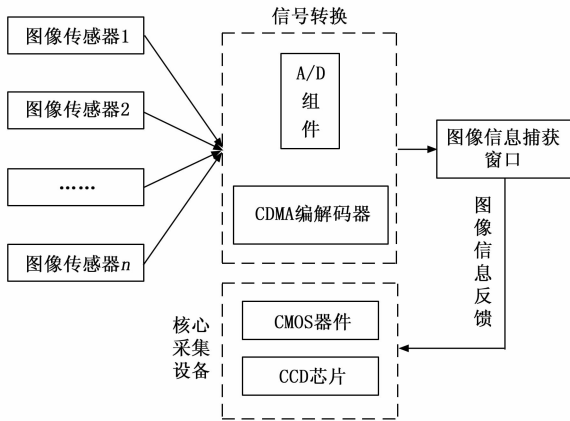


图 1 PNG 图像信息采集模块

传输差错控制系统的运行过程中, PNG 图像信息只能由传感器终端传输至核心采集设备之中, 所以信息参量在每一反馈流程中, 都不具有双向传输的能力。

1.2 图像信息编码模块设计

图像信息编码模块是 PNG 图像编解码器低码率传输差错控制系统的重要组成部分, 负责将图像信息采集模块中获取的原始 PNG 图像信息转换成可存储或可传输的数据定义格式, 以便于编解码器元件对其进行处理。编码模块的主要功能包括优化图像信息、减少冗余像素数据、压缩图像数据等。在 PNG 图像编解码器低码率传输差错控制系统运行过程中, 图像信息编码模块通常会采用一些技术手段来实现对像素数据的压缩与优化。这些技术手段可以根据图像信息的传输需求, 在低码率条件下, 定义具体的像素编码与命名形式^[9]。完整的 PNG 图像信息编码模块连接结构如图 2 所示。

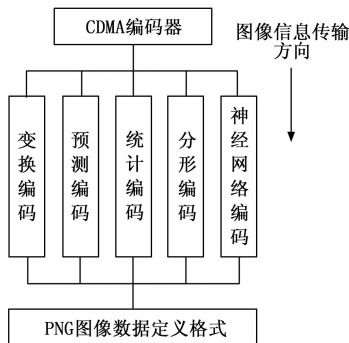


图 2 PNG 图像信息编码模块结构图

变换编码: PNG 图像数据的数学变换方式, 将图像信息从空间域转换到其他域之中, 然后对变换后的信息参量进行统一编码, 以便于其在低码率条件下的无差错传输。

预测编码: 利用关联图像信息之间的相关性, 通过预测当前像素数据的方式, 对 PNG 图像数据进行无差

错编码。

统计编码: 是具有统计特性的图像信息编码方式, 根据像素数据在 PNG 图像中的分布情况, 定义具体的低码率编码原则, 从而实现对编码后图像数据的无差错传输^[10]。

分形编码: 以图像信息分形理论为基础定义的数据编码方法, 可以在低码率条件下, 实现对 PNG 图像信息的高压缩比编码。

神经网络编码: 在神经网络中, 取样多种不同的 PNG 图像像素信息, 并将其传输至 CDMA 编码器之中, 从而实现对图像数据的统一编码。

由此, 可以将编码图像数据转换为节省空间的编码数据, 完成编码图像数据的压缩。

1.3 图像信息解码模块设计

图像信息解码模块根据接收到的编码数据, 对其进行解码还原为原始的图像数据, 主要包括压缩码流读取、解码后图像数据重建、解码图像显示 3 个流程。图像信息解码模块在信道组织的配合下, 将解码后的 PNG 图像信息收入到传输差错控制系统的缓冲区之中, 以便于编码模块的再次调取与利用。解码模块中包含多个不同的信息解码线程, 系统缓冲区一旦搜索到与一帧 PNG 图像相关的数据文本, 就表示当前情况下, 传输差错控制系统已经完成了对图像信息的解码处理^[11]。为满足图像信息在低码率条件下的传输需求, 解码后图像信息的排列形式与编码模块所定义的数据编码标准保持一致。PNG 图像信息解码模块的结构模型如图 3 所示。

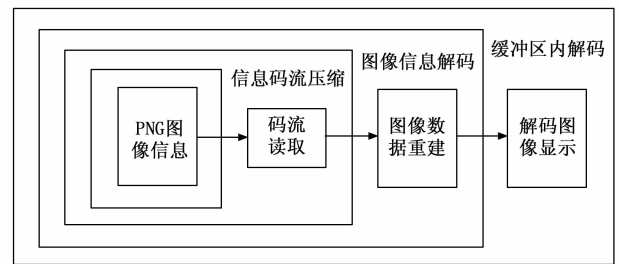


图 3 PNG 图像信息解码模块结构模型

PNG 图像信息在解码模块中的传输遵循由近及远的原则。经过编码模块编码认证后的图像信息首先以码流的形式, 被下级部件结构读取, 整个执行过程中, 为实现在编解码器内对数据样本的低码率传输差错控制, 读取后的信息码流只有在经过压缩处理后, 才能继续执行下一步的解码操作^[12]。PNG 图像数据重建是图像信息解码的关键操作环节, 整个行为过程发生在低码率传输差错控制系统的缓冲区组织之中, 且为保证解码后信息能够在系统主机中得到准确显示, 重建后图像数据与缓冲区内暂存信息参量之间不存在双向反馈关系, 即只

有完成重建后的 PNG 图像信息，才能够得到系统解码模块的定义与认证。进而向传输模块提供可靠的图像数据，保证低码率传输差错控制过程中的可靠性和稳定性。

1.4 图像信息传输模块

低码率传输差错控制系统的图像信息传输模块通过发送线程的方式，从系统码流缓冲区中读取经过编解码处理的 PNG 图像数据，再利用 RTP 传输单元，对图像信息数据包进行封装处理，最后借助 LTDP 协议，将低码率传输数据包发送到网络单元之中，以便于其他部件结构对图像信息的调取与利用。图像信息传输模块的接收线程从开放的编解码网络中把 PNG 图像数据包接收下来，再进行 RTP 封装，然后处于压缩状态的图像信息再次回传至系统码流缓冲区之中，等待编码模块、解码模块的再次编解码处理^[13]。对于图像信息传输模块各级指令执行标准的定义如表 1 所示。

表 1 图像信息传输模块的执行标准

指令名称	目的	执行结果
发送传输线程	读取编解码处理后的 PNG 图像信息	在 LTDP 协议的作用下,以低码率形式,将 PNG 图像信息传输至编解码器网络单元之中
图像信息数据包封装	实现 PNG 图像信息的低码率反馈	经过数据包封装处理后,传输差错控制系统可对图像信息进行直接调取与利用
图像信息调用	接收处于压缩状态的 PNG 图像信息	调用后的图像信息经过再次 RTP 封装处理后,能够符合传输差错控制系统在低码率条件下所定义的编解码需求
码流缓冲区内的数据回传	使回传后图像信息能够得到系统编码模块、解码模块的直接调用	便于编码模块、解码模块对 PNG 图像的再次编解码处理

在低码率传输差错控制系统中，传输模块还负责对 PNG 图像信息进行汇总，且单位时间内可被汇总的信息参量也必须经过编解码器元件的编解码处理^[14]。以确保在传输过程中不会丢失或损坏任何图像数据。这对于保持图像的完整性和质量至关重要。

综上 4 个模块共同组成了 PNG 图像传输差错控制系统的硬件模块单元。其整体设计旨在实现图像信息采集、压缩编码、解码恢复和传输保障的功能，以确保在低码率下实现可靠的图像传输并控制传输中的差错。每个模块在系统中扮演着重要的角色，配合协调工作，共同实现系统的目标。

2 图像编解码器的码率重构

源图像的码率可能不适合被传输模块处理和传输，特别是在低带宽或高传输时延的网络环境下。由于码率

过高，传输模块可能无法及时处理和传输图像数据。因此，在各级硬件模块的基础上，对输入图像进行编码器的码率重构，使其适应传输模块的处理能力和传输速率。

2.1 编解码器框架搭建

编解码器框架是非单体式的架构模型，可以用来处理 PNG 图像信息，通常由编码器机制、解码器机制共同组成，可以通过编码处理的方式，将已输入的数据样本转换为可存储或可传输格式的像素码源参量，也可以对接收到的 PNG 图像信息进行解码处理，从而将其还原为原始数据。在码率重构中^[15]，为了适应不同的数据应用需求与数据特性，编解码器需要具有根据 PNG 图像信息的实际情况进行扩展和定制的能力，以提高压缩算法的效率。因此，所搭建的编解码器框架如图 4 所示。

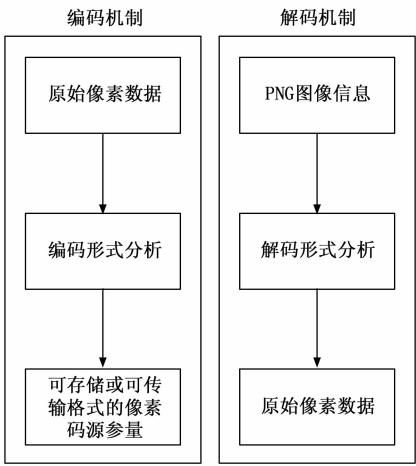


图 4 PNG 图像的编解码器框架

在编解码器框架中，编码机制负责压缩与优化原始数据，而解码机制负责对接收到的 PNG 图像信息进行解码和还原。由于编码机制、解码机制之间存在一定的数据依赖关系，所以整个编解码指令流程的实现需要多个系统硬件模块的共同配合。

设 ξ_1 表示原始像素数据的编码参数， ξ_2 表示 PNG 图像信息的解码参数， $\bar{E}$ 表示 PNG 图像信息的单位传输均值， ω 表示像素信息的低码率传输认证系数， $\vec{Q}$ 表示图像信息转码向量，联立上述物理量，可将编解码器框架定义式表示为：

$$q = \bar{E}^2 + \left(\frac{\omega \xi_1 \xi_2}{Q}\right)$$

(1)

此外，在低码率传输差错控制系统的运行过程中，编解码器框架还可以与其他类型的图像信息处理技术相结合^[16]，如数据转码、特效处理、效果混合等，以实现控制系统更加丰富的多媒体应用。同时，随着 PNG 图像定义标准的不断完善，编解码器框架也在不断的更

新与演进,以适应不同的图像信息低码率传输需求。

2.2 图像信息编解码训练集的生成

对于 PNG 图像编解码器的低码率重构中所搭建的编解码器框架需要适应不同类型的输入数据和应用场景。不同的图像内容、质量要求和压缩率等都会对编解码器的性能产生影响。需要通过生成图像信息编解码训练集来针对不同情况进行训练和优化,提高编解码器的适应性和通用性。

对 PNG 图像来说,低码率条件下传输差错控制系统的主要运行目的是避免像素色域过于集中,所以在生成图像信息编解码训练集时,应在完整的 PNG 图像中,对具有代表性的像素信息参量进行广泛取样^[17-18]。

e 表示 PNG 图像的编解码标准值, $e > 0$ 成立时,表示解码机制的执行强度高于解码机制; $e < 0$ 成立时,表示编码机制的执行强度高于编码机制;由于低码率条件下,编解码器不会存在无法认证 PNG 图像信息的情况,所以 $e \neq 0$ 的不等式取值条件恒成立。对于编解码标准值 e 的计算参考如下表达式:

$$e = \psi \left(\left| \frac{r_{\min}}{r_{\max}} \right|^2 + \sigma Y \right) \quad (2)$$

$r_{\min}$ 表示 PNG 图像信息认证向量的最小取值结果, $r_{\max}$ 表示图像信息认证向量的最大取值结果, ψ 表示图像信息的像素域度值, Y 表示图像信息组合参数, σ 表示数据依赖系数。

联立公式 (1)、公式 (2),可将图像信息的编解码训练集定义式表示为:

$$R = \sqrt{\frac{1}{q}} \times \left[\frac{(2\tau+1)\tilde{W}|\Delta T|}{2e} \right] \quad (3)$$

τ 表示编解码器对 PNG 图像信息的实时训练参数, ΔT 表示数据信息在编解码器框架中的单位训练周期, $\tilde{W}$ 表示代表性像素信息的取样特征。从 PNG 图像信息传输特性的角度来看,编解码训练集中所包含的每一个数据参量都必须符合像素信息的低码率传输标准,因此利用编解码器框架筛选图像信息时,应保证编码机制、解码机制的同步执行。

2.3 码率重构函数设置

与 PNG 图像编解码器码率传输标准相关的重构函数符合损失函数定义标准,所选取的训练数据将会指导编解码器框架对图像信息的处理方向。在低码率传输中,由于传输差错控制系统同时管控 PNG 图像编码、解码两项执行任务,所以每一个码率重构函数同时对应两组不同的计算结果。因此需要在压缩效率和图像质量之间进行权衡。设置码率重构函数可以根据具体应用场景和需求,对编解码器的压缩算法和参数进行调整,以达到最优的压缩效率和图像质量平衡。

损失函数严格约束了编解码器生成数据与真实图像

信息之间的误差关系,并且在编码器组件单元中^[19],该误差参数只能进行反向传输。在 PNG 图像中,选择 n 个不相等的像素信息节点,其损失函数定义式如下:

$$u_n = \hat{y}^2 \cdot \frac{\sqrt{v_n+1}}{2} \quad (4)$$

式中, $\hat{y}$ 表示图像信息的像素损失约束项, v_n 表示不同编解码器框架区域中的 PNG 图像信息生成数据。

在公式 (4) 的基础上,推导 PNG 图像编解码器的码率重构函数表达式如下:

$$I = \frac{\omega R |\tilde{\mathcal{O}}|^{-1}}{u_1 u_2 \cdots u_n} \quad (5)$$

式中, ω 表示 PNG 图像信息在编解码器框架中的低码率导流参数, θ 表示编码后图像信息的实时重构向量, ϑ 表示解码器单元中的图像信息传输差错定义值, $\bar{i}$ 表示编解码器对 PNG 图像中像素信息的容错特征, O 表示图像信息传输码率的损失向量。如果传输差错控制系统中只存在图像信息的编码或解码认证行为^[20],那么码率重构函数的计算结果也就始终大于零。但由于系统运行过程中,不可能存在理想情况,所以重构函数计算值也就不可能完全大于零。当小于零的函数重构标准成立时,也就意味着传输差错控制系统对 PNG 图像信息进行随机认证与取样。

通过设置码率重构函数,可以对训练集中的数据进行适应性的码率调整,使其更好地适配编解码器的输入要求和传输环境。同时,可以根据目标码率和传输要求,在编解码过程中实现有效的低码率控制,并提高编解码器的适应性、效率和质量。

3 PNG 图像传输差错控制

在低码率控制条件下,系统主机为实现对 PNG 图像编解码器传输差错的有效控制,还需利用拼接后的图像块,计算色度区域内的平均绝对误差损失,再以此为基准,求解传输差错控制参量的具体数值。

3.1 PNG 图像块拼接

PNG 图像通常被划分为多个块进行传输,每个块都具有自己的压缩和处理方式。在低码率传输中,块的传输可能会受到限制,导致块之间的边界传输产生问题。这可能导致块之间的不连续性,造成图像的瑕疵和不完整。因此在低码率条件下,以避免色域水平过于集中为目标,将 PNG 图像块拼接起来,可以使编解码器单元在实施编解码处理的过程中,更加快速的提取到像素对象。拼接线就是相邻 PNG 图像块的连接部分,其两侧所拼接图像块的色域水平必须属于同一色彩区域^[21-22]。码率重构函数要求拼接后 PNG 图像块中不得出现差异化程度过大的信息对象,且在拼接过程中,对于明显不相关的像素样点应进行去除处理。图 5 以 2 块 PNG 图像块为例,展示了具体的拼接标准。

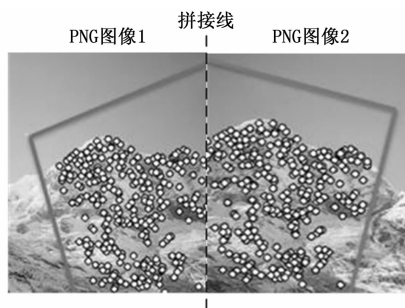


图 5 PNG 图像块拼接标准

规定 s, z 表示两个不相等的 PNG 图像块色度信息定义值, A_s 表示基于参数 s 的图像信息匹配向量, A_z 表示基于参数 z 的图像信息匹配向量。由于低码率条件下, 编解码器单元要求待拼接 PNG 图像块必须具有像素信息特征, 所以 A_s, A_z 的取值必须同时属于 $(-\infty, 0)$ 或 $(0, +\infty)$ 的数值区间。在上述物理量的支持下, 联立公式 (5), 可将传输差错控制系统的 PNG 图像块拼接标准表达式定义为:

$$P = \left[D \times \arg \left(\frac{\mu I a}{|A_s A_z|} \right)^{z/s} \right]^T \quad (6)$$

式中, D 表示 PNG 图像色域信息的定义基向量, a 表示图像信息的差异化计量值, μ 表示拼接线连接参数。图像区域中, 信息对象的完整性较高, 因此在实施拼接处理时, 为实现对 PNG 图像传输差错的有效控制, 必须选择经过完整编、解码处理的信息参量, 作为拼接处理的实际操作对象。

3.2 图像信息的平均绝对误差损失计算

拼接过程中, 如果图像块之间存在错误或者拼接区域处理不当, 可能会产生伪影、失真或边界的人工修复痕迹等问题。在 PNG 图像编解码器低码率传输差错控制系统中, 平均绝对误差损失是最常用的衡量指标, 该项物理量不受图像信息离群点的影响, 具有较强的数值稳定性, 经过阶段性控制处理后, 可使 PNG 图像信息的传输差错在最短时间内收敛到全局最优结果, 以减少或消除这些伪影和失真。计算平均绝对误差损失对于 PNG 图像信息样本数量具有明确要求, 在 PNG 图像编解码器单元中, 数据编解码指令保持实时执行状态, 所以只有在图像信息样本足够大的情况下, 才能实现对低码率传输差错的有效控制^[23-24]。绝对误差的定义要求图像信息编解码损失必须保持最小值状态, 所以进行运算时, 应在拼接后的 PNG 图像块中划分较小的像素信息取样区域。

设 $g_1, g_2, \dots, g_n$ 表示 n 个不同的 PNG 图像信息低码率传输误差, 其取值属于 $(0, 1)$ 的数值区间, v 表示编解码图像信息的绝对值, h 表示 PNG 图像信息的离群点平均计量值, f 表示像素取样区域内的图像信息绝对

误差估值。在上述物理量的支持下, 联立公式 (6), 推导 PNG 图像信息的平均绝对误差损失计算式如下:

$$S = P | g_1^2 + g_2^2 + \dots + g_n^2 |^{-v} - \frac{1}{2} f h \quad (7)$$

虽然只有色域水平相同或相似的 PNG 图像块才能被拼接在一起, 但拼接对象中所取得的图像信息依然无法完全相同。因此, 在 PNG 图像块的拼接临界区域内 (拼接线连接区域), 平均绝对误差损失结果取得最大值, 向两端方向, 损失值计算结果不断减小。

3.3 传输差错控制参量求解

传输差错控制参量影响 PNG 图像编解码器编解码过程中的码率检验和^[25-26], 检验和用于检测图像信息是否在传输过程中出错。控制系统发送端主机经过计算检验处理后, 将 PNG 图像添加到数据包中, 此时接收端主机也会自发计算检验和参数。如果接收端检测到的图像信息检验和与发送端的检验和数值不匹配, 那么就可以认为 PNG 图像在低码率编解码的过程中出现了传输差错。在这种情况下, 传输差错控制参量的求解结果会无限趋近于零。如果发送端并没有计算图像信息检验和, 但接收端却检测到了检验和数值, 控制系统主机就会丢弃当前信息数据, 且此过程中不会产生任何的传输差错报文。

规定 κ 表示差错值匹配向量, $\bar{L}$ 表示控制系统发送端的图像信息检验和, $\bar{X}$ 表示控制系统接收端的图像信息检验和, $\vec{k}$ 表示 PNG 图像信息的低码率传输差错向量, Z 表示图像信息的传输差错值定义项, λ 表示 PNG 图像信息的传输码率控制阈值。在上述物理量的支持下, 联立公式 (7), 可将传输差错控制参量求解结果表示为:

$$J = \frac{\kappa \times S}{\left(\vec{k} \cdot \sqrt{\frac{2\bar{L}}{3}} \right)^T + \lambda \left(\sqrt{\frac{\bar{X}}{Z}} + 1 \right)} \quad (8)$$

在低码率传输中, 图像信息的传输速率较低, 所以更容易受到色域噪声和干扰的影响。因此, 在设计 PNG 图像编解码器低码率传输差错控制系统时, 应以传输差错控制参量的取值为标准, 对图像块拼接区域内的像素信息进行容错处理, 以确保在图像编解码过程中即使出现传输差错也能实现对信息参量的有效控制。

4 实验与分析

4.1 实验设置

为研究 PNG 图像编解码器低码率传输差错控制系统的有效性, 在 Figure 软件中, 以 $1\,920 \times 1\,080$ 分辨率的 PNG 图像作为研究对象。对其基本色域进行分析, PNG 图像如图 6 所示。

PNG 图像的色域详情如图 7 所示。



图 6 PNG 图像的色彩直方图

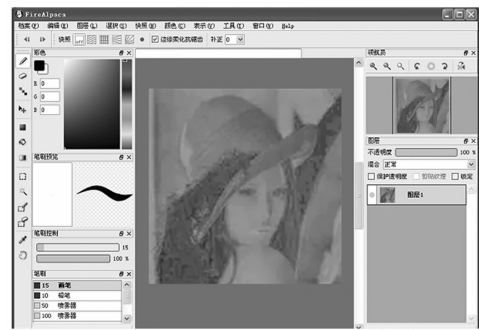


图 7 PNG 图像的色域分析

在实验过程中，还需要注意以下几方面：

- 1) 确保实验环境的稳定性和可靠性，避免外部干扰对实验结果的影响。
- 2) 记录详细的实验数据和结果，以便后续对色域分散程度进行分析和比较。
- 3) 在实验过程中不断调整参数设置，以获得更全面的实验数据和更准确的分析结果。

实验相关参数设置如表 2 所示。

表 2 实验相关参数设置

参数名称	参数值
目标码率	500 kbps
码字长度	256 Byte
最大重传次数	2 次
冗余数据比例	10%
传输速率	200 kbps
传输丢包率	5%
传输时延	300 ms
码率重构函数模块的参数范围	0.7~1.3

4.2 结果与分析

1) 色域水平对比：

经过传输差错控制系统的处理后，PNG 图像的色域水平会出现一定程度的变化，一般来说，色域度越集中，就表示色彩信息在 PNG 图像中的分布越密集，主机元件错误取样图像信息的可能性就越大，当前情况下，表示所应用系统对图像信息传输差错的控制能力较弱，无法满足实际应用需求。

分别将 PNG 图像编解码器低码率传输差错控制系统（第一组）、图像压缩感知在信源信道联合编码系统（第二组）、面向 OFDM-MFSK 水声通信的差错控制（第三组）的运行程序输入 FireAlpaca 软件，记录不同系统作用下，PNG 图像的色域分散情况，详情如图 8 所示。

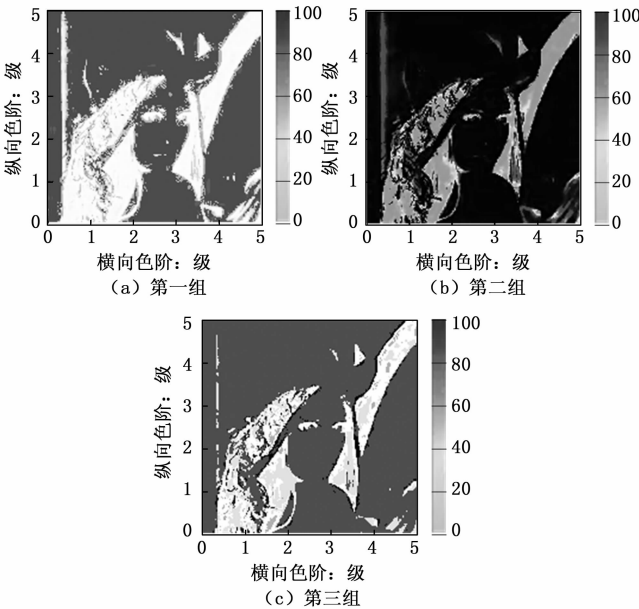


图 8 色域水平

分析图 8 可知，第一组色域图像中，深色像素、浅色像素的对比较为强烈，特别是在 2 阶像素区域内，这种对比关系表现得尤为明显。第二组色域图像中，深色像素、浅色像素的对比并不十分突出，整体色度水平偏暗。第三组色域图像中，深色像素、浅色像素的对比关系比第二组更为突出，但其整体色度水平却比第一组更暗。

2) 色域分散程度对比：

对于色域分散程度的计算参考如下表达式：

$$\chi = \frac{\varphi_1}{\varphi_2} \times 100\% \tag{9}$$

其中： φ_1 表示横向色域最小值， φ_2 表示纵向色域最小值。

利用图 8 所示实验结果，计算各个色阶处的色域分散程度，具体计算结果如表 3 所示。

表 3 色域分散程度 %

分组	第一组	第二组	第三组
第 1 阶	93.61	37.50	70.04
第 2 阶	92.70	48.00	86.21
第 3 阶	95.50	72.03	52.73
第 4 阶	94.38	66.25	87.50
第 5 阶	91.59	70.15	83.26

根据表 3 可知, 第一组色域分散程度的均值水平最高, 第三组色域分散程度的均值水平最低, 第二组色域分散程度的均值水平处于第一组、第三组之间。

5 结束语

在低码率传输中, 图像差错控制是一个重要而复杂的问题。为了进一步提高图像编解码的效率和准确性, 需要综合考虑差错检测、容错传输、图像编解码等多个处理流程, 通过不断完善和优化这些技术手段, 能够进一步提高 PNG 图像编解码器低码率传输差错控制系统的性能。实验结果表明, 所设计系统进行图像传输时深像素、浅像素的对比较为强烈, 且色域分散程度的均值水平较高, 可以有效进行图像传输差错控制, 保证图像的完整性。

参考文献:

- [1] 潘晓英, 魏 苗, 王 昊, 等. 多尺度融合残差编解码器的低照度图像增强方法 [J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2022, 34 (1): 104-112.
- [2] 刘叙含, 张尚卓, 黎海青, 等. 图像压缩感知在信源信道联合编码系统中的应用 [J]. 水下无人系统学报, 2021, 29 (2): 218-223.
- [3] 高 潭, 吕成财, 田 川. 面向 OFDM-MFSK 水声通信的差错控制方法 [J]. 系统工程与电子技术, 2022, 44 (5): 1701-1708.
- [4] PATEL, SIMRAN C., ALSADOON, ABEER, PRASAD, P. W. C., et al. Multi-stage error control technique for improving 3DV transmission over OFDM wireless systems [J]. Multimedia tools and applications, 2021, 80 (25): 33799-33825.
- [5] RAUFMEHR, FARHAD, SALEHI, MOHAMMAD REZA, ABIRI, EBRAHIM. A frame-level MLP-based bit-rate controller for real-time video transmission using VVC standard [J]. Journal of Real-Time Image Processing, 2021, 18 (3): 751-763.
- [6] 毕秀丽, 闫武庆, 邱雨檬, 等. 基于 Shamir 秘密共享方案的文件图像篡改检测和修复方法 [J]. 计算机研究与发展, 2022, 59 (6): 1356-1369.
- [7] 杨 华, 赵香华. 基于 x264 编码的码率控制模型优化方法 [J]. 计算机仿真, 2023, 40 (8): 249-253.
- [8] 张立峰, 卢栋臣. 基于卷积稀疏编码的电容层析成像图像重建 [J]. 计量学报, 2023, 44 (7): 1075-1079.
- [9] 吴其华, 赵 锋, 王俊杰, 等. 基于编码相位调制的 ISAR 图像特征控制方法 [J]. 系统工程与电子技术, 2023, 45 (4): 1000-1007.
- [10] 贾克斌, 崔腾鹤, 刘鹏宇, 等. 基于深层特征学习的高效率视频编码中帧内快速预测算法 [J]. 电子与信息学报, 2021, 43 (7): 2023-2031.
- [11] 张正道, 杨佳佳, 谢林柏. 基于辅助信息补偿和控制信号编码的重放攻击检测方法 [J]. 自动化学报, 2023, 49 (7): 1508-1518.
- [12] 梁婉莹, 朱 佳, 吴志杰, 等. 具有选择性局部注意力和前序信息解码器的代码生成模型 [J]. 北京大学学报 (自然科学版), 2021, 57 (1): 45-52.
- [13] 衡红军, 范昱辰, 王家亮. 基于 Transformer 的多方面特征编码图像描述生成算法 [J]. 计算机工程, 2023, 49 (2): 199-205.
- [14] 谭成兵, 姚宏亮, 詹 林. 基于深度学习和稀疏编码的图像超分辨率重建 [J]. 计算机应用与软件, 2022, 39 (12): 219-226.
- [15] 潘晓英, 魏 苗, 王 昊, 等. 多尺度融合残差编解码器的低照度图像增强方法 [J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2022, 34 (01): 104-112.
- [16] 吉 喆, 严英占, 贾大功. 基于串联哑铃型微环谐振腔的二维相干光码分多址编解码器 [J]. 物理学报, 2022, 71 (1): 137-145.
- [17] 方仲俊, 张 静, 李冬冬. 基于空间和多层级联合编码的图像描述算法 [J]. 计算机科学, 2022, 49 (10): 151-158.
- [18] 白瑞峰, 江 山, 孙海江, 等. 基于编解码结构的微血管减压图像实时语义分割 [J]. 中国光学, 2022, 15 (5): 1055-1065.
- [19] 邓文博, 刘 帅, 刘福才, 等. 基于压缩感知和 DNA 编码的图像加密算法 [J]. 计算机工程与科学, 2022, 44 (9): 1574-1582.
- [20] 李 铮, 徐永昌, 乾方圆, 等. 高通量图像编码中的端到端量化参数优化方法 [J]. 华中师范大学学报 (自然科学版), 2022, 56 (6): 963-969.
- [21] 吴 鹏, 陈北京, 郑雨鑫, 等. 基于双流 Faster R-CNN 的像素级图像拼接篡改定位算法 [J]. 电子测量与仪器学报, 2021, 35 (4): 154-160.
- [22] 张婧媛, 王宏霞, 何沛松. 基于 Transformer 的多任务图像拼接篡改检测算法 [J]. 计算机科学, 2023, 50 (1): 114-122.
- [23] 王翌昕, 蔡穗华, 马 啸. 基于 SC-LDGM 码的随机混合业务传输方案 [J]. 电子学报, 2022, 50 (10): 2305-2310.
- [24] 宋 鑫, 倪淑燕, 张 喆, 等. 面向不等差错保护的低误码平台 LT 编码算法 [J]. 通信学报, 2022, 43 (6): 85-97.
- [25] 王子成, 马永幸, 王延峰, 等. 局部有源忆阻耦合异质神经元的设计及在 DNA 编码图像加密的应用 [J]. 电子与信息学报, 2023, 45 (9): 3359-3369.
- [26] 何晨光, 黄声显, 陈舒怡, 等. 基于语义通信的低比特率图像语义编码方法 [J]. 信号处理, 2023, 39 (3): 410-418.