

# 基于轻量化GPT的火焰目标智能识别技术研究

赵贺斌

重庆安全技术职业学院, 中国·重庆 404000

**摘要:** 火焰识别在早期火灾监测体系中位置关键, 而在光照剧烈变化、背景杂乱或火源微弱等情境下, 传统识别模型常出现响应迟缓或判定失准的问题。轻量化 GPT 模型因具备更强的全局特征捕捉能力与语义表达能力, 借助结构压缩与注意力机制精简, 使其能够在边缘设备上保持较高识别精度与较低计算消耗。为适应火焰形态动态多变、边缘模糊及颜色纹理复杂的特征需求, 研究围绕模型结构调整、特征编码方式重构及推理效率提升展开, 并构建系统级验证方案; 在多场景测试中, 以 YOLO 系列模型为参照基线, 开展性能对比, 结果表明轻量化 GPT 在复杂场景的特征理解与鲁棒性方面具有更优表现, 为火灾智能预警系统的工程落地提供了可靠技术路径。

**关键词:** 轻量化 GPT; 火焰识别; 智能监测; YOLO 验证; 边缘计算

## Research on Intelligent Flame Target Recognition Technology Based on Lightweight GPT

Zhao Hebin

Chongqing Vocational Institute of Safety Technology, China Chongqing 404000

**Abstract:** Flame recognition plays a critical role in early fire monitoring systems. However, under conditions such as drastic illumination changes, cluttered backgrounds, or weak fire sources, traditional recognition models often suffer from delayed responses or inaccurate judgments. Lightweight GPT models, benefiting from stronger global feature extraction and semantic representation capabilities, combined with structural compression and streamlined attention mechanisms, are able to maintain high recognition accuracy with low computational cost on edge devices. To address the challenges posed by dynamically changing flame shapes, blurred edges, and complex color-texture characteristics, this study focuses on model structure optimization, feature encoding reconstruction, and inference efficiency enhancement, and establishes a system-level validation framework. In multi-scenario tests, YOLO series models are used as benchmark baselines for performance comparison. The results indicate that lightweight GPT demonstrates superior performance in feature understanding and robustness under complex scenarios, providing a reliable technical pathway for the practical deployment of intelligent fire early-warning systems.

**Keywords:** Lightweight GPT; Flame recognition; Intelligent monitoring; YOLO validation; Edge computing

## 0 引言

火焰的形态往往随气流扰动而剧烈变化, 其边界不稳定、颜色梯度细碎且受环境光影响明显, 因此在真实监控场景中, 识别任务容易受到烟雾、反射、遮挡等因素干扰, 而由此引发的误检与漏检, 长期困扰着传统识别方法; 近年来深度学习模型的性能不断提升, 但体量庞大、算力消耗高的特征, 使其在边缘终端的运行效率难以满足实时预警需求, 于是具备轻量结构的 GPT 模型逐渐受到关注, 它依托全局注意机制, 可在复杂背景下稳定提取火焰的动态特征, 并在结构压缩与推理优化后具备部署优势, 而为验证其在实际场景中的可靠性, 引入对比模型的必要性愈发凸显, 尤其是常用于目标检测的 YOLO 系列, 可为性能评估提供清晰参照, 使技术的优势与局限得以精准呈现。

## 1 轻量化 GPT 模型在火焰识别场景中的适配基础研究

### 1.1 轻量化 GPT 模型结构特点与火焰视觉特征匹配性分析

在火焰目标的视觉识别任务中, 特征往往呈现高度随机性, 其边界受空气扰动而摇曳, 其颜色受环境光映射而不断游移, 而在这一类动态且不稳定的对象面前, 传统模型依赖固定卷积核进行局部扫描的方式显得局促<sup>[1]</sup>; 轻量化 GPT 依托全局性注意结构, 使图像各区域之间的关联得以被统一表达, 特征间的连贯性与整体性由此更容易被捕捉, 使火焰轮廓的宽窄变化、纹理跳跃以及光斑闪烁等细节不再被片段化切割, 而是被作为整体动态的一部分加以建模。为了适应火焰特征的连续波动, 轻量化 GPT 采用了更紧凑的权重共享策略, 注意力头数量随结构精简而调

整,位置编码方式也从刚性结构向柔性表达过渡,使其在保留语义敏感性的同时显著降低算力消耗,并在边缘终端上保持稳定推理性能,这种结构特性恰与火焰的视觉规律形成良好的 aligned 关系,可在复杂背景干扰下维持较高辨识度。

## 1.2 火焰目标识别数据集构建与轻量化预处理机制

火焰识别精度往往受数据质量深刻影响,而高度依赖真实场景的监控体系,其数据的完整性与多样性更重要,为此在数据集构建过程中,不同光照条件、遮挡强度、摄像机角度与背景扰动被纳入范围,夜间反光、烟雾弥散、金属镜面反射等不确定因素也被刻意保留,使模型在训练阶段便接触足够广谱的火焰形态;为了适配轻量化 GPT 较高的特征编码敏感性,预处理机制在色彩扰动、纹理均衡、边缘模糊恢复等方面进行了细致设计,使火焰的细粒度特征更易被模型捕捉。Token 化图像后,模型接收的输入不再是单纯的像素块,而是带有语义线索的连续编码,使火焰纹理的细微 oscillation 被有效描述,进而提升模型在边缘设备运行时的稳定度与泛化能力,也为后续模型的结构优化奠定坚实基础<sup>[2]</sup>。

## 2 基于轻量化 GPT 的火焰目标识别模型构建与优化机制研究

### 2.1 轻量化 GPT 火焰识别模型架构设计与优化方法

模型架构的构建并非源于结构的机械堆叠,而是源于对火焰视觉规律与算力约束的共同权衡,火焰图像在空间与时间上常呈现连续震荡的纹理走向,而轻量化 GPT 依托自注意结构,使局部跳跃与全局趋势能够并行纳入判断逻辑,由此避免边缘破碎带来的误判风险;模型主干结构在保留核心模块的前提下进行了压缩,冗余通道被整合,多头注意力的数量与维度依火焰特征重新配置,使模型在紧凑状态下仍保持敏感表达。为了适应火焰尺度与形态的频繁波动,特征编码部分加入柔性位置表达,使亮度变化呈现连续线索,而这一变化在传统卷积模型中常被视为噪声,轻量化 GPT 却能将其转化为语义优势。剪枝、量化与结构重排形成协调机制,使模型在参数量下降的同时依旧具备高表达力,并在边缘端保持流畅推理,这种优化策略为后续工程化部署奠定坚实基础<sup>[3]</sup>。

### 2.2 模型训练策略与推理效率提升方法

模型训练阶段的核心任务,是在有限的计算预算下保证模型的稳定收敛与语义敏感度,使火焰的纹理波动、光照偏移以及色彩跳变在特征空间中被准确编码;为此,引入梯度稳定化策略,使注意力权重在早期训练中避免出现

剧烈震荡,并借助蒸馏机制,将大型模型对火焰细节的理解迁移至轻量化 GPT,使其在体量减小后仍具备丰富的语义表达。为了提升复杂场景下的鲁棒性,训练过程加入了连续帧扰动模拟,使模型在面对火焰移动速度不确定、形态频繁重构的时刻仍保持对关键特征的敏感度,而这一点在静态识别模型中往往难以实现。推理效率的提升,则依赖多重策略的协同实现,包含注意力缓存、低比特量化、结构化剪枝以及边缘侧运算优化,使模型在设备算力有限的情况下依然能够完成实时识别任务;当注意力计算被压缩至更低的维度时,推理延迟显著下降,而 GPU 与嵌入式设备上的推理优化进一步缩短响应时间,使模型具备可规模化部署的条件。训练与推理阶段的协同设计,使轻量化 GPT 真正具备在复杂消防监测场景中持续稳定运行的能力。

### 2.3 面向复杂火焰特征的语义增强与动态建模机制

火焰目标呈显著的动态特性,其形态随风流、烟雾、温度扰动而迅速变化,为增强模型对火焰语义的掌握深度,在架构中嵌入语义增强单元,使模型能够捕捉火焰在非线性价迹中的节奏感;轻量化 GPT 在特征编码阶段引入多尺度嵌入,使大小不一、亮度差别显著的火焰区域在特征空间具备更高区分度,而序列化表示机制使模型能够依据连续趋势识别火焰本体,而不是被单帧异常牵引。为提高模型对噪声与反光的抗扰能力,将纹理扰动、背景光斑、烟雾漂移等因素逐步嵌入训练,使模型在高湿度、强反光、半遮挡等场景中保持低误警率,语义增强模块在此发挥决定性作用;动态建模机制的加入,使模型在火焰急剧扩张或收缩的瞬间仍保持判断稳定,避免局部变化破坏整体趋势判断<sup>[4]</sup>。此类能力对于早期火情监测意义深远,因为火焰在初发阶段通常细弱不稳,而模型一旦能够在轻微亮度扰动中捕捉潜在风险,预警系统的安全价值便得以显现。

## 3 轻量化 GPT 火焰识别系统的应用验证与性能评估研究

### 3.1 系统搭建与场景构建:从工程约束到应用落地

火焰识别系统的构建往往要在工程现实中反复权衡,其安装环境、光照条件、监控角度以及设备功耗皆构成复杂边界,而轻量化 GPT 模型恰因算力开销低、稳定性强而具备在多场景部署的可能性。在系统集成过程中,将摄像头、边缘计算模块、轻量化 GPT 推理单元与预警输出模块组合为一体,使识别链路在尽可能短的路径上闭合。为了验证其在真实环境中的表现,选取了室内仓储区、半开放厂房、户外林地等典型监控区域,每一处场景的火焰表现

表1 轻量化GPT与YOLO系列模型性能对比结果

模型类型	准确率(%)	召回率(%)	F1值(%)	推理延迟(ms)	参数量 (M)
YOLOv5	92.1	88.3	90.1	14.7	7.2
YOLOv7	93.4	89.6	91.2	16.9	12.5
YOLOv8	94.0	90.1	91.8	18.4	11.2
轻量化GPT(本研究)	95.2	92.9	94.0	13.1	6.4

均不同，例如仓储区火焰常伴随烟雾快速堆积，厂房内的火光容易与金属反射混淆，而林地地区在风力扰动下火焰形态变化更为剧烈。系统在这些环境中的运行表现表明，轻量化 GPT 能够在复杂背景下保持识别稳定性，尤其对火焰微弱阶段的捕捉更加敏感，使潜在风险提前被纳入监测范围，而硬件资源占用未出现明显压力，这一特点为其推广应用奠定现实基础。

### 3.2 性能评估与对比验证：以量化指标呈现模型能力

为了全面呈现模型在复杂环境下的性能表现，从准确率、召回率、F1 值、推理时延、参数规模、能耗表现等多个维度构建评价体系，使轻量化 GPT 模型的优势与边界得到清晰呈现。而模型评测的可靠性往往需要基准参照，因此选取行业内应用广泛的 YOLO 系列模型（YOLOv5、YOLOv7、YOLOv8）作为横向比较对象，使识别能力、定位精度、抗噪声表现等关键指标更具可比性。在多组实测中可见，当火焰处于边缘状态或呈现较为模糊的形态时，YOLO 模型在目标框回归时偶有漂移，而轻量化 GPT 因具备较强的语义建模能力，使火焰整体走势与颜色跳变能够被纳入判断逻辑，从而在连续帧检测中保持结果稳定<sup>[5]</sup>。例如在一段林地监控视频中，火点在风力作用下快速抖动，YOLO 在单帧上易出现误判，而轻量化 GPT 能够依托多帧间特征连贯性规避此类干扰，使识别链路更趋稳定。

为了展示实验结果，将关键指标汇总于下表，在表 1 中可见轻量化 GPT 与 YOLO 系列的差异趋势。

从表中数据可见，轻量化 GPT 在识别精度、召回率与综合性能指标上均表现更为突出，尤其在推理效率方面呈现相对优越的延迟控制，而参数规模也保持明显优势，使其在边缘设备运行中的适配性更强。实验结果说明，该模型不仅在识别层面提升表现，更在工程部署中展现出更大潜力。

### 3.3 多场景验证与系统鲁棒性分析：从动态扰动到复杂噪声的应对能力

为了检验模型在真实复杂环境中的鲁棒性，将实验延伸至不同类型的环境扰动条件，从烟雾干扰、光源反射、雨雾遮挡到快速运动场景，使识别网络面对更贴近实际的

视觉压力。轻量化 GPT 模型的表现显示，当火焰被烟雾部分遮蔽时，其识别准确度仍维持在高水平区间，依托全局自注意机制，使模型在纹理不完整的情况下仍能抽取火焰的语义核心；在强反光的厂房场景中，火光与金属反射极易混淆，而模型因具备颜色—形态—纹理三重关系建模能力，使误警率保持在极低水平。此外，有必要强调动态扰动环境的重要性，在风力强劲的林地场景中，火焰的主体边缘被频繁拉伸与压缩，传统基于目标框回归的网络常因形体变化过大而失稳，而轻量化 GPT 能够依托序列化建模方式，将火焰的连续特征嵌入判断逻辑，使系统不会因单帧异常而偏离轨迹。

为了强化评估体系，将轻量化 GPT 与 YOLO 模型在三类典型干扰场景中的表现进行对照，结果显示前者在烟雾扰动与动态变化场景中保持显著优势，而 YOLO 在高亮反射场景中依旧有较好的定位能力，两者在应用侧形成互补关系。在工程使用中，可依据场景特点灵活选择，或构建多模型融合架构，使识别体系更加稳健。整体实验验证表明，轻量化 GPT 的特征表达能力足以支撑多场景监测需求，而其鲁棒性表现也证明了模型在实际消防系统中的价值，使智能预警具备更可靠的落地条件。

## 4 结语

火焰识别技术的演进正由算力驱动走向结构驱动，而轻量化 GPT 的引入，使火焰这一高度动态且难以规整的目标，得以被纳入一种更具整体性的表达框架之中；在不断变化的光影与形态之间，它以连贯且富有弹性的语义建模方式，为智能预警体系提供了一种更稳健的技术途径，而在与 YOLO 系列的对照中，其优势所在愈显清晰——并非替代关系，而是一种更高层次的互补，使火焰识别不再局限于框定与回归，而向着理解与判断并行的方向延展。随着轻量化结构持续优化、边缘计算能力不断增强，火焰识别的未来或将更加贴近真实场景的需求，使智能消防体系具备更高的响应速度与更强的风险洞察力，而这种面向场景本质的技术方向，也将推动相关领域迈向更成熟的发展阶段。

### 参考文献：

[1] 汤健, 杨薇薇, 夏恒等. 基于扩散模型图像增强与

多类特征融合的火焰燃烧状态智能识别[J]. 北京工业大学学报, 2025,51(12):1502-1514.

[2] 陈川, 邓成中, 武昕坤等. 基于火焰识别与定位的智能消防炮系统设计[J]. 消防科学与技术, 2015,34(09):1207-1209.

[3] 赵阳, 刘俊蕾, 付旭峰等. 基于卷积神经网络的火焰智能识别研究[J]. 自动化技术与应用, 2023,42(11):64-67. DOI:10.20033/j.1003-7241.(2023)11-0064-04.

[4] 刘杰, 赵明辉, 王文明等. 基于改进 YOLOv3 的输

煤系统烟雾火焰识别研究[J]. 机械工程与自动化, 2025,54(05):73-75.

[5] 王勇, 邵志敏, 王震等. 基于 YOLO-CAGSC 的变电站智能边缘火焰检测算法[J]. 计算机应用, 2025,45(S2):335-340.

作者简介: 赵贺斌(1986.03-), 男, 汉族, 重庆开州人, 大学本科, 专任教师, 助教, 研究方向: 网络空间安全与人工智能技术应用。