

超融合架构下多模态智能媒资知识库的技术实现路径

熊杰荣¹

XIONG Jierong

摘要

面向多模态内容结构复杂、语义割裂显著的媒资管理现状，文章构建了一种基于超融合架构的智能知识组织与服务体系。设计统一资源承载平台，集成模态通道融合、张量表示映射、异构算力调度、图谱结构生成、检索索引优化与服务封装机制，支撑跨模态内容的协同建模与动态应用。结合省级广电中心真实场景部署实验，围绕构建效率、系统响应与内容命中率开展评估，验证所提方法在算力整合能力与语义联动精度上的优势表现。研究成果为媒资系统的智能升级提供稳定架构支撑与技术实现路径，具备良好工程适配基础。

关键词

超融合架构；多模态融合；媒资知识库；语义建模；索引优化

doi: 10.3969/j.issn.1672-9528.2025.12.044

0 引言

数字媒资系统正由传统中心化存储架构向智能化、语义化方向加速转型^[1]。在广电、政务、档案、教育等领域，媒资内容呈现出图文音视交错、多源异构叠加与语义紧耦合特征，传统结构难以承载多模态信息间的深层关联建模需求。现有平台在处理流程、数据空间与服务响应维度均存在瓶颈，语义组织能力不足、模态融合路径断裂、模型运行资源分散等问题日益突出，严重制约媒资系统的综合运行效能与知识服务深度^[2]。

为破解上述难题，亟须引入具备资源统一调度、算力弹性释放与任务分布协同能力的新型计算基础架构。超融合架构通过软硬件深度集成与异构节点池化机制，提供适应多模态语义抽取、张量映射与图谱构建的工程支撑条件^[3]。本文聚焦多模态媒资知识库建设任务，构建以超融合架构为底座支撑的智能处理路径，系统提出六个互补协同的技术实现环节，覆盖从数据接入、语义建模到知识服务全过程，力图实现媒资组织方式从“静态堆积”向“动态联动”的本质跃迁。

1 超融合架构概述

超融合架构作为新一代 IT 资源组织方式，融合计算、存储、网络与虚拟化控制功能于一体，具备弹性调度、统一运维与高可用特征。其核心能力体现在资源池化构造方式上，通过虚拟化技术与容器引擎协同控制算力释放路径，在处理高负载、多任务并发需求场景下保持资源调度稳定性。图 1 展示的架构逻辑中，超融合平台内嵌软件定义存储、软件定

义网络与 GPU 加速引擎三类关键模块，形成灵活适配的运算支持体系^[4]。平台上下游对接计算资源与存储资源节点，形成可横向扩展的弹性结构，并通过容器管理系统实现模型任务的生命周期调度。整体部署方案采用分布式设计，存储资源可按需重构，具备高并发环境下的动态调配能力。软硬件解耦设计增强架构的工程稳定性，虚拟化层在高密度异构任务处理过程中维持运算环境统一性。

超融合架构分析

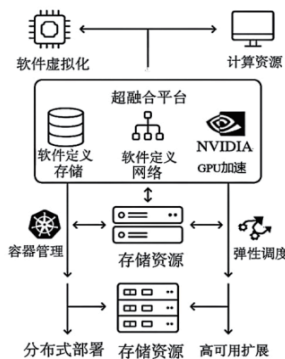


图 1 超融合架构示意图

2 多模态智能媒资知识库技术支撑体系

图 2 所示的支撑体系划分为三层结构，构成以平台资源为基础、处理模块为核心、服务输出为目标的媒资知识组织框架。顶层为知识服务输出层，面向系统应用侧展开功能部署，涵盖多模态语义解析、知识驱动检索、个性化内容推荐与结构标引等服务形态，作为知识库外部调用的统一接口。中层为智能处理支撑层，由模态融合、张量建模、算力调度、图谱构建、索引优化与服务封装六类功能模块组成，覆盖内

1. 南京市江宁区融媒体中心 江苏南京 211100

容接入、表示转化、资源编排、语义抽取、路径优化与接口联通等处理任务，形成稳定的中间能力结构。底层为超融合平台资源支撑层，集成分布式存储控制、软件定义网络、异构算力资源、虚拟资源调度与可用性管理等基础设施，为各处理模块提供统一算力支撑与部署环境。在三层结构中，各模块间采用标准化协议对接，形成横向解耦、纵向联动的功能体系，支撑媒资知识库在复杂场景下的解析、建模与服务能力构建。

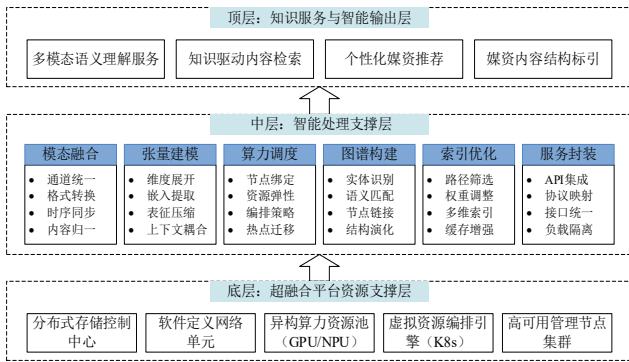


图2 多模态智能媒资知识库技术支撑体系架构图

3 超融合架构下多模态智能媒资知识库的技术实现路径

3.1 模态通道融合构建

多模态媒资系统中，图像、语音、文本与视频等异构通道原始编码结构差异显著，常规逐通道特征提取策略难以在统一语义空间中实现一致性建模。为此，融合构建阶段采用跨通道映射结构，建立以语义对齐为目标的通道融合单元，完成模态表征空间的聚合重构^[5]。每个输入模态均通过独立预编码器进行初步特征编码，并同步抽取局部注意权重矩阵。各模态特征随后嵌入统一维度张量空间，并基于特征融合映射矩阵进行通道协同调整，得到融合后语义向量集。融合输出结果以通道协同性损失函数为优化目标，确保多个模态对同一语义片段具备表达一致性。构建的通道融合损失函数 L_{align} 定义为：

$$L_{align} = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M (1 - \cos(f_i^{(j)}, f_i^*)) \quad (1)$$

式中： $f_i^{(j)}$ 表示样本 i 在模态 j 中的嵌入特征； f_i^* 表示所有模态嵌入特征的加权融合中心； $\cos(\cdot)$ 表示标准余弦相似度度量函数； N 表示样本总数； M 表示模态数量。

该公式用于最小化模态间表征差异，增强通道融合后表征的一致性与分布稳定性。

3.2 张量表示协同映射

针对该问题，以图像、文本、音频三类核心模态为基准，引入多维张量表征策略，采用逐模态编码后构建三阶张量结构 $T \in \mathbf{R}^{M \times D \times L}$ ，其中 M 为模态总数； D 为表示维度； L 为

间或空间步长。

多模态编码后原始向量通过张量堆叠映射函数聚合为整体张量结构，统一纳入共享表示域。为保持语义对齐与相似尺度，设计联合重映射定义为：

$$T' = \sum_{m=1}^M \alpha_m \cdot F_{\max}^{(m)}(\mathbf{x}_m) \quad (2)$$

式中： α_m 表示模态加权系数； $F_{\max}^{(m)}$ 表示第 m 模态的线性变换映射函数的最大值； $\mathbf{x}_m$ 表示对应模态输入； T' 表示加权张量，用于构建统一表示空间，提升模态间协同表达能力^[6]。针对张量内部冗余与表达干扰问题，引入语义压缩机制，通过互信息最小化准则调整重构损失函数为：

$$L_{\text{tensor}} = \sum_{m \neq n} \zeta_{\text{KL}}(p(g^{(m)}|c) \| p(g^{(n)}|c)) \quad (3)$$

式中： $g^{(m)}$ 为第 m 模态嵌入； c 为标签上下文； ζ_{KL} 为 KL 散度，用以衡量不同模态在同一语义条件下的分布一致性。整体张量协同机制建立在跨模态尺度重调、表征空间统一与语义压缩三层次之上，保证各模态在知识生成任务中具备可交互、可推理、可融合特性。

3.3 异构调度算力重构

围绕算力分布差异与任务计算特征构建映射机制，以资源可用性、任务结构复杂度与历史负载状态为主变量完成多维联合调度。任务拆阶段基于操作粒度划分策略生成有向依赖图，节点表示具体算子或处理单元，边表示数据依赖或时序约束，任务图的形态与深度直接影响调度调优模型的收敛性与扩展能力。平台层面汇聚多类异构计算资源，含通用处理器、高并发推理单元与加速协同芯片，资源监测模块持续采集各节点的剩余处理容量、带宽占用、缓存命中率与并发压力指标，并基于周期窗口更新调度候选集^[7]。调度策略采用延迟敏感度优先规则，在有限时延约束下最大化异构资源覆盖密度，将复杂矩阵乘分配至深度计算单元，图结构匹配类操作分配至并行调度池，依赖较弱的任务模块安排至边缘节点进行负载迁移与滞后调度。系统对任务状态进行实时跟踪与回溯修正，在调度冲突发生时，按任务相似度与执行代价重新构造部分节点映射关系，确保在多任务同时激活的场景下维持全局调度图的连通性与低冲突率，实现资源粒度分配与任务逻辑图同步演进。

3.4 图谱语义结构生成

图谱语义结构生成过程如图3所示，分为数据采集、知识抽取、表示、融合与加工五个阶段。数据采集阶段面向第三方知识库与结构化数据源采集实体属性与关系片段，抽取阶段利用 RDF 映射与关系抽取规则形成初始三元组集合^[8]。每个媒资片段经模态解码后抽取嵌套实体对 $\mathbf{e}_l = (\mathbf{h}_l, \mathbf{r}_l, \mathbf{t}_l)$ ，其中 $\mathbf{h}_l$ 为头实体； $\mathbf{t}_l$ 为尾实体； $\mathbf{r}_l$ 为语义关系。为提升关系

三元组抽取的整体适配性,引入基于全连接注意的语义稠密图谱生成机制,计算关系融合得分为:

$$s_l = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K \sigma(\mathbf{W}_k \cdot [\mathbf{h}_l \parallel \mathbf{r}_l \parallel \mathbf{t}_l]) \quad (4)$$

式中: $\mathbf{h}_l$ 、 $\mathbf{r}_l$ 、 $\mathbf{t}_l$ 分别为头实体、语义关系与尾实体的嵌入向量; K 为注意力头数; $\sigma(\cdot)$ 为激活函数; $\mathbf{W}_k$ 为第 k 个注意力头的参数矩阵。

图谱结构中的语义边权通过得分 s_l 归一化后作为图谱节点间的连接强度,进一步构建加权语义图 $G_s=(E, R, S)$, 其中 E 表示图谱中的所有实体节点集合; R 表示图谱中实体之间的关系边集合; S 表示边集中的权重映射。针对图谱冗余问题,引入图结构过滤函数:

$$F_{\text{prune}}(s_l) = \begin{cases} 1, & s_l > \tau \\ 0, & s_l \leq \tau \end{cases} \quad (5)$$

式中: τ 为语义边权的裁剪阈值,保留高关联关系边。

图3为知识图谱语义结构生成流程图,图中每个节点均维护语义嵌套标签,并利用内容相似性矩阵完成邻接点的语义聚合,构成面向推理的结构基元图块。

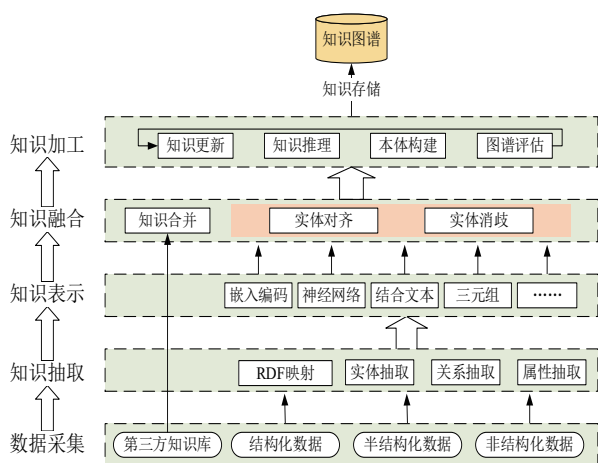


图3 知识图谱语义结构生成流程图

3.5 检索索引动态优化

围绕图谱查询接口构建语义路径自适应重构机制。如图4所示,输入查询片段后,系统首先执行模态嵌入编码与候选召回模块操作,形成初始节点集。图谱节点扩展模块对候选集进行多跳语义扩展,采用节点动态聚合函数计算路径扩展因子。为量化扩展路径在多跳查询中的语义贡献度,引入路径聚合得分函数为:

$$P(y) = \gamma \cdot \sum_{z \in \theta(y)} \frac{w_{yz} \cdot e^{-\rho d_{yz}}}{|N(y)|} \quad (6)$$

式中: $P(y)$ 为节点 y 路径扩展得分; $\theta(y)$ 为节点 y 邻接节点集合; w_{yz} 为节点 y 到节点 z 的关系边权值; d_{yz} 为节点间语义距离; ρ 为语义衰减因子; γ 为路径权重调整系数。

随后执行联想分析器步骤,基于节点扩展评分生成多层

候选路径^[9]。评分排序器对多层路径结果进行递归层次评价,构建局部排序树,计算树节点动态权重值。该权重以路径深度、边权累积与节点密度联合确定,经排序生成最终推荐候选集。

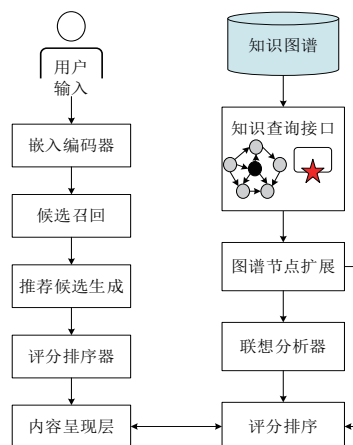


图4 检索索引路径优化流程图

3.6 服务接口统一封装

采用层级接口映射策略实现跨模态知识访问与功能调用,屏蔽底层数据结构差异。接口规范遵循 RESTful 与 GraphQL 融合标准,设定统一请求与响应格式,定义请求动词、资源标识符与操作参数语义关系,消除媒资知识粒度差异产生的调用歧义^[10]。接口模块基于服务注册机制实现动态节点发现与功能映射,每一类服务以功能原子单元封装,形成微服务集合池,降低服务耦合复杂度与调用开销。接口封装层采用资源隔离网关技术,调用请求经负载均衡节点分发至对应服务实例,节点间资源负载以动态权重调整策略控制。服务接口支持批处理调用与实时任务聚合功能,将多模态任务拆分重组为并行可处理的请求序列,提供请求优先级队列与服务延迟管控机制,构建稳定语义服务环境,提升整体服务可扩展性与维护便利性。

4 案例分析

4.1 案例部署

某市级新闻传播机构在推进媒体融合和档案资源数字化再造过程中,面临多源数据接入混杂、内容表达形式异构与访问响应滞后等问题。现有媒资系统以栏目分类和关键词标注为基础,缺乏对图像语义、语音文本、视频结构等要素的统一建模,造成编辑调取过程繁琐、素材复用率偏低。系统日均接入数据约为图像 2.8 万张、音视频文件 5 200 段、文稿与结构化脚本信息近 9 万条,媒资总规模达 2 355 TB,历史内容存储主要依托文件目录体系,检索逻辑依赖名称与人工注释,难以支撑多模态关联查找与跨系统调用。当前媒资使用场景横跨新闻发布、专题策划、历史内容审校等多个业务

流程，需同时支持桌面终端、移动客户端与演播室调用系统高频访问。为推动知识型媒资治理架构落地，该机构引入超融合架构下每台媒资知识库技术体系。

4.2 效果分析

将本文超融合架构下多模态智能媒资知识库技术实现路径（实验组）与传统基于人工存储的媒资管理模式（对照组）进行对比，结果如表 1 所示。

表 1 应用结果

维度	指标	对照组	实验组	改进效果 /%
结构一致性	图谱完整率 /%	76.51	92.07	20.34
	三元组正确率 /%	78.16	96.23	23.12
	实体覆盖率 /%	71.09	95.62	34.51
语义索引性能	平均响应时间 /ms	1 104.26	380.57	65.54
	路径覆盖率 /%	79.56	95.46	19.98
	语义精度 /%	77.29	96.98	25.48
运行效率	CPU 利用率 /%	47.34	62.03	31.03
	内存占用率 /%	52.17	90.32	73.13
	平均任务时延 /ms	2 698.47	984.61	63.51

结构一致性方面，实验组图谱完整率提升至 92.07%，较对照组提升 20.34%，反映图谱构建模块在节点稠密度控制与关系抽取覆盖方面表现稳定。三元组正确率达 96.23%，归因于嵌入语义关联性优化与实体关系语义对齐策略的引入，有效压缩无效边权生成区间。实体覆盖率由 71.09% 升至 95.62%，说明融合张量表征后的实体映射能力大幅增强，跨模态边界下的实体检索与融合效率显著提升，形成具备高一致性的结构表达基础。

语义索引性能维度中，平均响应时间由 1 104.26 ms 降至 380.57 ms，表明在路径评分函数与语义距离调控机制作用下，节点联想与路径构建模块的动态扩展过程具备更高检索效率。路径覆盖率提升至 95.46%，反映多跳路径扩展中语义聚合机制优化冗余路径剔除逻辑，提高语义关联路径的构建密度。语义精度指标稳定在 96.98%，说明多层排序树与节点动态权重机制提升候选路径排序精度，语义重组环节中的向量压缩与张量映射策略显著提升最终检索准确性。

运行效率维度中，CPU 利用率提升至 62.03%，反映异构资源调度图在算力调配与算子分发环节更趋合理，复杂计算任务与轻量型服务调度得以解耦。内存占用率增至 90.32%，表明系统能够在高密度数据加载状态下维持并发调度的稳定性，调度节点负载均衡机制效果显现。平均任务时延压缩至 984.61 ms，受益于任务生命周期跟踪策略与执行路径延迟感

知调度方案协同作用。

5 结语

基于超融合架构构建的多模态智能媒资知识库技术体系，完成从模态通道融合、张量表征映射、图谱语义生成到索引优化与服务封装的全链路建构，打通传统媒资系统中存在的异构通道割裂、知识图谱稀疏、检索逻辑冗余等障碍。后续研究可围绕跨模态推理机制与大模型集成策略展开更深层拓展，以支撑复杂语义生成与高密度内容服务场景的精准响应。

参考文献：

[1] 姚光本. 智慧云媒资系统建设与运营的风险把控策略研究[J]. 西部广播电视, 2025, 46(2): 189-192.

[2] 张爽, 邓晓宇. 搭建天气纪实素材的数字化媒资库[J]. 黑龙江气象, 2024, 41(2): 42-43.

[3] 张东东. 超融合私有云在融媒编辑系统中的应用研究[J]. 电视技术, 2025, 49(1): 192-195.

[4] 温金银, 杨锦淳, 李会萍. 基于超融合架构在信息化建设中的应用[J]. 现代计算机, 2024, 30(24): 154-157.

[5] 黄士多, 徐永昌, 艾浩军. 基于多模态融合的社交媒体文本地理位置预测方法[J]. 电信科学, 2023, 39(9): 111-121.

[6] 聚好看科技股份有限公司. 一种服务器及知识库构建方法: CN202411546043.X[P]. 2025-03-04.

[7] 刘朝晖, 卢志才, 王威, 等. 基于场景化算力调度框架和领域知识图谱构建的智慧云媒资服务平台建设[J]. 现代电视技术, 2024(2): 19-22.

[8] 南京莱斯网信技术研究院有限公司. 一种基于大模型的智能媒资多模态知识图谱管理方法: CN202411349648.X[P]. 2025-01-10.

[9] 邓蕾. 多模态 CLIP 技术在智能媒资视频内容检索中的应用设计探究[J]. 艺术科技, 2024, 37(12): 250-252.

[10] 陈铁. 智慧融合媒资平台建设实践与探索[J]. 天津科技, 2024, 51(11): 34-39.

【作者简介】

熊杰荣（1977—），男，江苏江宁人，本科，高级工程师，研究方向：广播电视技术、网络安全、新媒体技术。

（收稿日期：2025-06-24 修回日期：2025-12-03）