

# 分布式任务调度在边缘计算环境中的实时性优化

邹宝胜

江南机电设计研究所 贵州 贵阳 550000

**【摘要】**：边缘计算环境下，实时性问题是分布式任务调度中的关键挑战之一。为了提升任务调度的实时性，提出了一种基于动态任务调度与负载均衡的优化方法。该方法通过实时监控系统负载与网络延迟，动态调整任务调度策略，确保任务按时完成并最大化资源利用率。实验结果表明，所提出的优化方法相比传统方案在实时性和资源利用率上均取得了显著提升。优化策略为实现更高效的边缘计算任务调度提供了有效的技术支持。

**【关键词】**：分布式任务调度；边缘计算；实时性优化；负载均衡；调度策略

DOI:10.12417/3041-0630.26.04.044

边缘计算作为一种新兴的计算架构，借助分布式系统将计算任务推向网络边缘，能够有效降低数据传输的延迟，提升系统响应速度。随着任务量的增加，如何有效地在分布式环境中进行实时任务调度，成为优化边缘计算性能的关键。尤其在面对多任务并发、动态负载和网络波动等因素时，如何保证任务调度的实时性，成为研究的热点问题。探索适应性强的调度策略，能够在保证任务按时完成的同时，充分利用边缘计算资源，解决实际应用中的挑战。因此，实时性优化不仅是提升边缘计算系统效率的关键所在，也关系到边缘计算在各类场景中的实际应用价值。

## 1 实时性优化中的关键问题与挑战

实时性优化是边缘计算中分布式任务调度的核心问题，尤其在多任务并发和网络不稳定的环境下，如何确保任务能够在限定的时间内完成成为一大挑战。边缘计算将任务分配到分散的节点上，导致每个节点的计算负载、网络延迟和资源可用性各不相同。不同节点间的资源差异和网络波动常常引发任务调度中的时延问题。为了保证任务能够按时执行，必须解决任务的优先级调度、负载均衡、任务划分和资源调度等问题，这些因素直接影响实时性的保障。

边缘计算环境中的实时性问题通常由多种因素共同作用，首先是任务的动态变化。在任务数量和优先级不断变化的情况下，如何根据任务的实时需求进行精确调度，是保证系统实时性的关键<sup>[1]</sup>。边缘计算节点的计算能力与存储资源存在差异，这使得某些节点可能面临资源过载，导致任务无法在预期时间内完成。任务的调度必须具备灵活性，能够根据节点负载和网络延迟进行动态调整。

网络延迟也是影响实时性的一个重要因素。在边缘计算环境中，任务需要通过网络在各个节点之间进行传输，而网络延迟常常受到带宽、拓扑结构和传输质量的影响。当网络质量不稳定时，任务的数据传输时间会显著增加，从而影响整体任务调度的实时性。

## 2 基于负载均衡的实时任务调度优化策略

在分布式任务调度中，负载均衡被认为是实现实时性优化的一个重要策略。为清晰描述本文调度框架，给出边缘计算环境下分布式任务调度实时性优化架构，如图1所示。

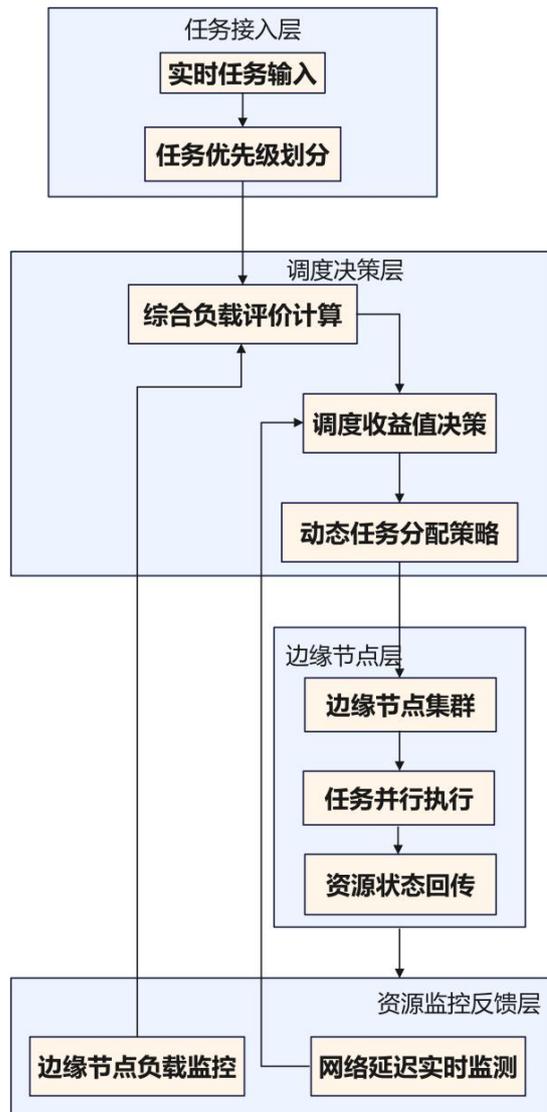


图1 边缘计算分布式任务调度实时性优化架构

边缘计算环境下，各个节点的计算能力、存储资源以及网络连接情况各不相同，因此如何合理地分配任务、避免某些节点的过载成为了任务调度中的关键问题。负载均衡策略旨在将任务均匀分配到各个节点上，从而减少负载过重节点的压力，并有效提升整体系统的实时响应能力。为量化节点负载水平，定义节点负载评价公式：

$$L_i = \alpha \cdot \frac{U_{cpu}^i}{C_{cpu}^i} + \beta \cdot \frac{U_{mem}^i}{C_{mem}^i} + \gamma \cdot \frac{U_{net}^i}{C_{net}^i}$$

式中： $L_i$ 为边缘节点*i*的综合负载值； $U_{cpu}^i$ 、 $U_{mem}^i$ 、 $U_{net}^i$ 分别为节点CPU、内存、网络带宽使用率； $C_{cpu}^i$ 、 $C_{mem}^i$ 、 $C_{net}^i$ 为对应资源总容量； $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$ 为加权系数，满足 $\alpha + \beta + \gamma = 1$ 。

在任务调度的负载均衡中，节点的资源使用情况是核心考虑因素。资源使用情况不仅仅是计算能力，还包括存储空间、带宽等。通过对节点资源的实时监控，可以实时获取每个节点的负载情况，基于此信息动态调整任务的分配。负载均衡的目标并不是单纯地将任务均匀分配，而是通过优先考虑节点的剩余资源，选择最合适的节点来执行任务，从而避免资源的过度竞争和任务的延迟。

采用负载均衡策略能够有效减少任务调度的时延，提升实时性。具体而言，当某个节点出现资源紧张时，任务调度算法可以迅速识别并将任务迁移到负载较轻的节点。这种策略不仅可以防止节点过载，还能够减少由于节点拥堵而导致的任务延迟<sup>[2]</sup>。在这种动态调整的过程中，负载均衡机制根据每个节点的负载变化和实时任务需求，调节任务的优先级和执行顺序，以确保最关键的任务得到优先执行。在此基础上，建立实时调度决策公式：

$$S(i,j) = \omega_1 \cdot (1 - L_i) + \omega_2 \cdot \frac{1}{D_{ij}}$$

式中： $S(i,j)$ 为任务*j*分配至节点*i*的调度收益值； $D_{ij}$ 为节点*i*与任务源之间的网络延迟； $\omega_1$ 、 $\omega_2$ 为负载与延迟的权重系数。调度目标为选择使 $S(i,j)$ 最大的节点执行任务，以实现实时性最优。

### 参考文献：

- [1] 陈丽琼,于秀超,孙怀英.基于抢占式调度的依赖任务分布式边缘计算卸载[J/OL].无线电通信技术,1-9[2026-02-25].
- [2] 常嘉瑞.基于光互连的分布式边缘计算系统动态任务调度算法研究[D].东南大学,2023.
- [3] 陈刚,王志坚,徐胜超.基于移动边缘计算的混合分布式任务容错调度方法[J].计算机与数字工程,2022,50(10):2202-2206+2228.

边缘计算环境中的网络波动和传输延迟也是影响实时性的因素之一。负载均衡策略不仅需要计算和存储资源的分配，还要关注节点间的网络状态。在负载均衡策略中，可以引入网络延迟预测机制，基于网络状态对任务进行智能调度。如果某些节点的网络连接较差，可能导致任务执行时间的延长，此时调度算法会优先选择网络稳定的节点进行任务分配，从而减少因网络原因导致的延迟。

### 3 实验分析与优化效果验证

实验分析是验证负载均衡优化策略有效性与实时性提升的关键环节。基于边缘计算仿真平台，通过构建多边缘节点、多任务类型及动态网络环境，设置多组对比测试场景，将优化策略与传统调度方法进行对比实验。实验从不同负载与网络条件下评估算法性能，以平均任务完成时间、系统吞吐量和节点负载标准差为核心评价指标，综合验证策略在实时性与资源利用率上的提升效果。

在负载均衡优化策略下，系统能够更高效地管理各个节点的资源分配，确保每个任务在最合适的节点上执行，从而减少任务执行的延迟。实验结果表明，在高负载情况下，优化策略能够有效分散任务到低负载节点，避免节点过载并导致响应延迟。相比于传统调度方法，优化策略显著降低了任务完成的总时间，提高了边缘计算系统的整体性能<sup>[3]</sup>。

实验进一步验证不同网络延迟条件下优化策略的性能，通过模拟网络拥堵与传输时延，评估其适配性。结果显示，该策略鲁棒性较强，可根据网络状态动态调整任务调度，确保网络不稳定时任务仍能按时完成，这一能力在低延迟、高实时性场景中尤为关键。

### 4 结语

实时性优化在边缘计算中的分布式任务调度中具有重要意义。负载均衡策略通过优化任务的分配，提高了系统的响应速度和资源利用效率。实验结果表明，采用负载均衡策略能够有效减少任务延迟，提升系统的实时性和稳定性。随着边缘计算的不断发展，未来任务调度的优化将更加智能化，为各类应用场景提供更加高效的解决方案。