

论文： Non-cooperative power and latency aware load balancing in distributed data centers

问题： 分布式数据中心的负载均衡

解决方式:把前后端代理服务器的负载均衡看作是一个非合作性博弈。数据中心的操作成本=能源成本+延迟成本。

通过最小化操作成本提出了一个非合作性负载均衡博弈，获得结构的纳什均衡。设计一个负载均衡算法，对比现有方法的性能，数据结构显示从成本的角度，它近似于全局最优解，也确保了用户的公平性。

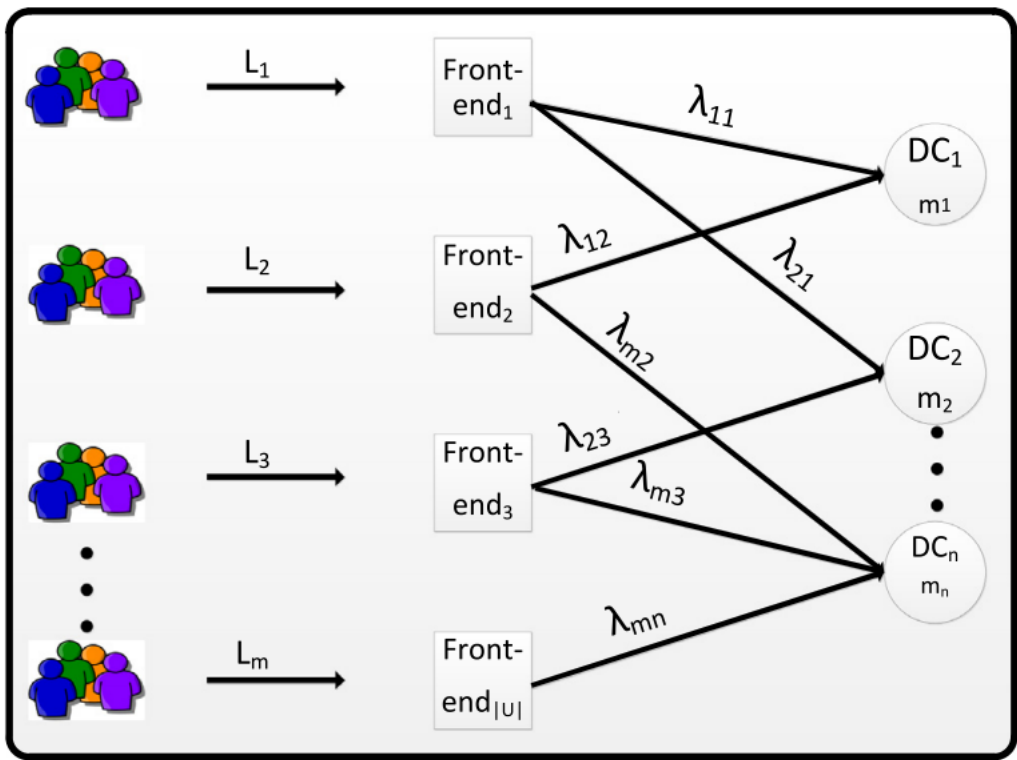


Fig. 1. Architecture of a distributed data center.

n 个数据中心 S，m 个 Front-end 代理服务器 U

每个数据中心容纳 m_s 个服务器，模拟为 M/M/1 队列系统。处理速率：

$\mu_s = m_s \mu$ ， $s=1, 2, \dots, n$ 。客户端的需求到达率为 L_u ， $u=1, 2, \dots, m$ 。

一个 Front-end 代理服务器将用户的请求映射到多个数据中心，

λ_{su} 表示客户端 u 的需求映射到数据中心 s 上的分配。

所有数据中心的对 u 的需求分配之和=客户端 u 的需求到达率：

$$\sum_s \lambda_{su} = L_u \quad \forall u.$$

同时：

$$\lambda_{su} \geq 0 \quad \forall s, u.$$

数据中心 s 接受的需求小于处理速率

$$\sum_u \lambda_{su} < \mu_s \quad \forall s.$$

能源消耗成本： 闲置成本和高峰成本

数据中心利用率：

$$\eta = \sum_u \lambda_{su} / \mu_s m_s.$$

能源消耗包括 3 部分：

闲置服务器消耗*高峰服务器消耗+冷却和辅助设备消耗：

$$P_s = m_s(P_{idle} + (E_s - 1)P_{peak}) + \sum_u \lambda_{su} m_s (P_{peak} - P_{idle}) / \mu_s m_s.$$

可以表示为总负载的一个仿射函数.

$$P_s = \frac{(P_{peak} - P_{idle}) \sum_u \lambda_{su}}{\mu_s} + \epsilon'$$

$$\text{where } \epsilon' = m_s(P_{idle} + (E_s - 1)P_{peak}).$$

闲置的消耗能源很少，假设 $\epsilon' = 0$

因此， P_s 是负载的线性函数。

$$P_{su} = \frac{(P_{peak} - P_{idle})\lambda_{su}}{\mu_s}.$$

数据中心 s 在客户端 u 上的成本是：

$$\Theta_{su} = \rho_s \frac{(P_{peak} - P_{idle})}{\mu_s} \lambda_{su}$$

$$\Theta_{su} = \theta_s \lambda_{su}$$

where $\theta_s = \rho \frac{(P_{peak} - P_{idle})}{\mu_s}$ is constant.

延迟成本：

$$\begin{aligned} \Delta_{su} &= \beta \lambda_{su} \delta_{su} \\ &= \beta \lambda_{su} (D_{su} + d_{su}) \\ &= \beta \left(\frac{\lambda_{su}}{\mu_s - \sum_u \lambda_{su}} + d_{su} \lambda_{su} \right) \end{aligned}$$

策略：

vector $\lambda_u = (\lambda_{1u}, \lambda_{2u}, \dots, \lambda_{mu})$ as the load balancing strategy of a user $u, u = 1, 2, \dots, m$ and the vector $\lambda = (\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m)$ as the

优化函数：客户端的成本=消耗成本+延迟成本

$$\begin{aligned} \Psi_u(\lambda) &= \sum_{s=1}^n (\Theta_{su} + \Delta_{su}) \\ \Psi_u(\lambda) &= \sum_{s=1}^n \left(\theta_s \lambda_{su} + \beta \lambda_{su} \left(\frac{1}{\mu_s - \sum_i \lambda_{si}} + d_{su} \right) \right). \end{aligned}$$

因此，front-end 代理 u 是要找到一个可行的负载均衡解 u ，使得它的成本最小。它的策略会受到其他代理策略的影响。