

基于排队网络模型的数据库系统瓶颈问题研究

李斌臣, 苏桂平

(中国科学院研究生院 信息科学与工程学院, 北京 100049)

摘 要: 针对数据库系统中所遇到的性能瓶颈问题, 以排队论理论为基础, 建立基于数据库系统的排队网络模型, 提出排队系统中的性能指标及其关系, 对数据库系统的性能进行评价分析, 为排查解除系统瓶颈、提升系统性能, 提供一种有效的分析方法。

关键词: 数据库系统; 排队论; 性能分析; 系统瓶颈

中图分类号: TP311.13

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2012)06-0100-04

The Bottleneck of Database Systems Analysis Based on Queuing Network Model

LI Bin-chen, SU Gui-ping

(School of Information Science and Engineering, Graduate School of CAS, Beijing 100049, China)

Abstract: For the problem of performance bottlenecks of database system, establish a queuing network model based on the database system, proposed queuing performance of the system indicators and their relationship, then evaluate and analysis performance of the database system. Provide an effective method of analysis, for investigating bottlenecks of the system and improving performance of the system.

Key words: database systems; queuing theory; performance analysis; system bottlenecks

1 引言

随着数据库规模的不断扩大, 数据库系统的性能分析^[1]已经成为数据库研究领域的重要方面. 其中瓶颈问题是影响性能的主要原因之一. 所以在研究提高系统性能时, 如何排查和消除瓶颈成为棘手的问题.

然而, 数据库的规模已经超出人工排查的能力范围, 如何准确地找出系统瓶颈^[2]需要借助有效的分析方法. 排队论是从排队等待得到抽象的物理模型, 进一步建立数学模型的一整套理论. 信息系统的定量研究往往借助于排队论解决.

2 排队网络模型研究

在现实生活中, 为了接受某种服务, 排队等待是

常见的现象. 从排队等待得到抽象的物理模型^[3], 进一步建立数学模型的一整套理论就是所谓的排队论.

2.1 排队论模型

在模型中, 给出如下输入信息(概率分布): 到达速率 λ 、服务时间 T_s 或服务员的的服务速率 μ , 输出信息(平均值): q 、 T_q 、 W 、 T_w . 假定顾客的到达时到达速率服从泊松分布, 服务员的服务时间时间服从指数分布, 就得到一种典型的排队模型 $M/M/1$ 模型^[4], 在该模型中有以下结论:

系统中平均顾客数:

$$q = E[N] = \frac{\rho}{(1-\rho)}.$$

顾客在系统中平均等待时间:

$$T_q = \frac{1}{\mu(1-\rho)}.$$

收稿日期: 2011-11-21; 修回日期: 2011-12-28

基金项目: 中国科学院研究生院院长基金资助(Y15102HN00)

其中服务员的利用率:

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu}$$

2.2 排队网络模型

在工程实践中,常遇到服务员的速率不同,并且一个顾客需要得到多个服务员的服务.比如,一个有图形工作站、数据库管理工作站、数据计算工作站、网络服务器组成的工作群,每个服务器的工作速率是不同的,一个顾客可能需到多个工作站得到服务,这就要用到有多个 $M/M/1$ 组成的排队网络模型.

在排队网络模型中,顾客在一个节点得到服务之后,进行一次概率选择,它要么离开网络要么进入另外一个节点,这种选择概率由选道概率矩阵 $Q = (q_{ij} | i, j = 1, 2, \dots, M)$ 定义,其中 q_{ij} 是一个顾客离开节点 i 下一步到达节点 j 的常数概率.在排队网络模型中,选道概率矩阵 Q 是假定事前知道的.

2.3 通信量方程

在排队网络模型中,一般已经知道转移概率、每个节点的外部到达平均顾客数 γ 和每个节点服务员的服务速率,如要用 $M/M/1$ 模型来求解需要求出每个节点的到达速度 λ_i . 可以利用通信量先求出每个节点的复合到达速度 λ_i . 令 $\lambda = \{\lambda_i\}$, 根据矩阵 Q 的特性,由于在向量形式下,通信量方程^[4]为

$$\lambda(I - Q) = \gamma$$

通信量方程的意义在于:在知道转移概率和每个节点的外部到达平均顾客数 γ 的情况下,可以求出每个节点的到达速度 λ_i .

3 基于排队网络模型的数据库系统瓶颈问题研究

在数据库系统中,一般有 CPU 管理器、事务管理器、并发控制管理器、磁盘管理器、缓冲区管理器、事务监视器等部件组成^[5],数据库系统中的请求的到达是随机的,在系统每个部件的服务时间也是随机的.所以,可以用排队网路模型来对数据库系统建模.

3.1 数据库系统中的排队模型

由 CPU 管理器、事务管理器、并发控制管理器、磁盘管理器、缓冲区管理器、事务监视器组成的排队网络模型如图 1 所示.

3.2 事务在系统中响应时间求解和瓶颈问题分析

为了对图 2 的数据库系统排队网络进行分析,需要建立下面的状态转移图 3,其中节点的转移概率 q_i 可以通过测试得到.

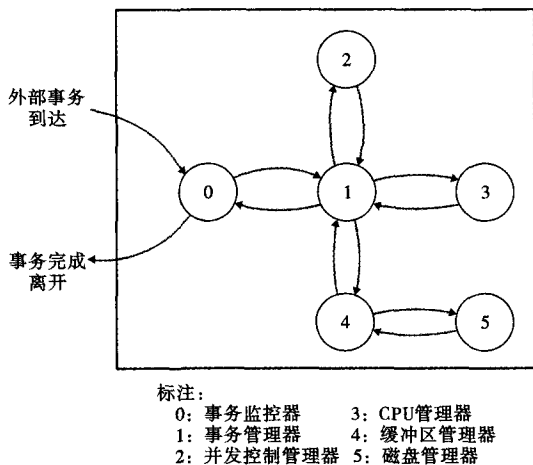


图1 数据库系统排队网络模型图

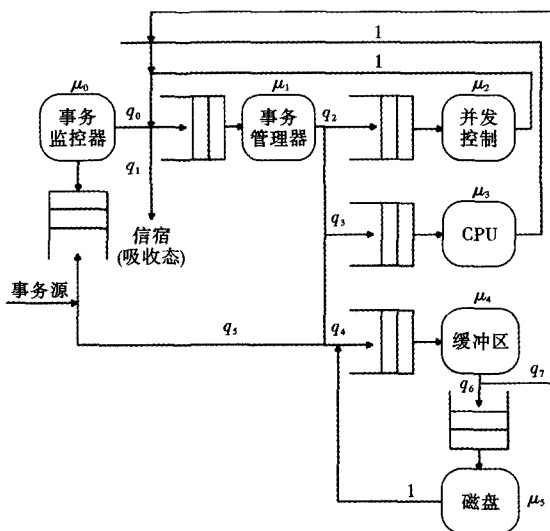


图2 数据库系统排队网络

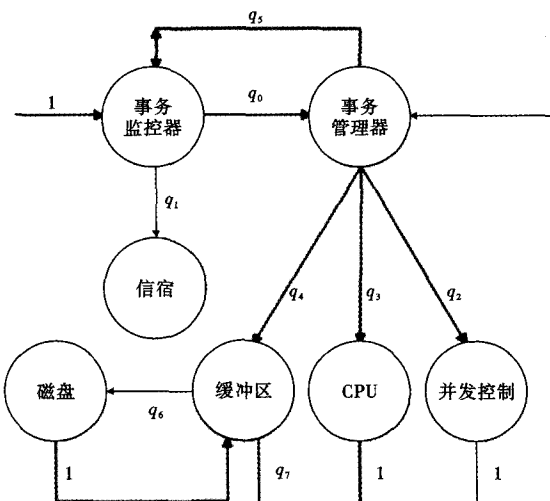


图3 状态转移图

由状态转移图可得排队网络的转移概率矩阵:

$$Q = \begin{bmatrix} 0 & q_0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ q_5 & 0 & q_2 & q_3 & q_4 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & q_7 & 0 & 0 & 0 & q_6 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

若假设系统的事务源每单位时间平均有 λ 个事务进入,利用通信量方程 $\lambda_i = \gamma_i + \sum_{j=1}^M \lambda_j q_{ji}$ (M 为节点个数) 可以得

$$\begin{cases} \lambda_0 = \lambda + \lambda_1 q_5 \\ \lambda_1 = \lambda_0 q_0 + \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4 q_7 \\ \lambda_2 = \lambda_1 q_2 \\ \lambda_3 = \lambda_1 q_3 \\ \lambda_4 = \lambda_1 q_4 + \lambda_5 \\ \lambda_5 = \lambda_4 q_6 \end{cases}$$

求解得到达各节点的速率为

$$\lambda_0 = \lambda \left[\frac{1}{1 - q_0 q_5} + \frac{q_0 q_2 q_5}{(1 - q_0 q_5)(1 - q_0 q_5 - q_2)} + \frac{q_0 q_3 q_5}{(1 - q_0 q_5 - q_2)(1 - q_0 q_5 - q_2 - q_3)} + \frac{q_0 q_4 q_5 q_7}{A_1(1 - q_0 q_5 - q_2 - q_3)} + \frac{q_0 q_4 q_5 q_6 q_7}{A_1 A_2} \right],$$

$$\lambda_1 = \lambda \left(\frac{q_0}{A_1} - \frac{q_0 q_4 q_6 q_7}{A_1 A_2} \right),$$

$$\lambda_2 = \lambda \left(\frac{q_0 q_2}{A_1} - \frac{q_0 q_4 q_6 q_7}{A_1 A_2} \right),$$

$$\lambda_3 = \lambda \left(\frac{q_0 q_3}{A_1} + \frac{q_0 q_3 q_4 q_6 q_7}{A_1 A_2} \right),$$

$$\lambda_4 = \lambda \left[\frac{q_0 q_4}{A_1} + \frac{q_0 q_4 q_6}{A_1 A_2 (1 - q_0 q_5 - q_2 - q_3)} \right],$$

$$\lambda_5 = \lambda \left(\frac{q_0 q_4 q_6}{A_1} \right).$$

其中: $A_1 = 1 - q_0 q_5 - q_2 - q_3 - q_4 q_7$,

$A_2 = 1 - q_0 q_5 - q_2 - q_3 - q_4 q_7 - q_6 +$

$q_0 q_5 q_6 + q_2 q_6 + q_3 q_6$.

节点 j ($j=0, 1, \dots, 5$) 的利用率 $\rho_j = \lambda_j / \mu_j$, 由 Jackson 网络定理结合 Little 公式可得节点 j 的平均队列长度 q_j 和相应时间 T_{q_j} :

$$q_j = \frac{\rho_j}{1 - \rho_j},$$

$$T_{q_j} = \frac{1}{\lambda} \cdot \frac{\rho_j}{1 - \rho_j}.$$

由此,数据库系统中的平均业务数目 q 和平均响应时间 T_q 为

$$q = \sum_{j=0}^5 \frac{\rho_j}{1 - \rho_j} \quad \text{和} \quad T_q = \frac{q}{\lambda} = \frac{1}{\lambda} \sum_{j=0}^5 \frac{\rho_j}{1 - \rho_j}.$$

根据上面求解出的每个节点 j 的平均队列长度 q_j 和响应时间 T_{q_j} , 对比平均书目与响应时间, 就可以对系统进行瓶颈问题分析.

4 应用实例

为了说明问题方便, 这里通过一个有 CPU 和数据库事务管理器组成的两个节点组成的排队网络模型, 讨论这个简单系统中的瓶颈问题. 对有多个节点组成的数据库系统求解方法类.

4.1 顾客在 CPU 和数据库事务管理器中花费的时间

假定系统由 CPU 和数据库事务管理器组成的两个节点组成, 如图 4 所示.

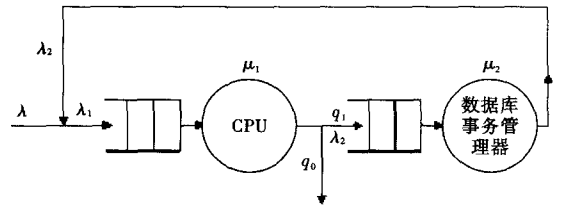


图 4 一个具有反馈的开环网络

可以先利用通信量方程, 求出每个节点的合成速率 λ_1, λ_2 , 然后利用 $M/M/1$ 中的公式求解.

$$\begin{cases} \lambda_1 = \lambda + \lambda_2 \\ \lambda_2 = q_1 \lambda_1 \end{cases},$$

由上述两式, 可得

$$\lambda_1 = \frac{\lambda}{1 - q_1} = \frac{\lambda}{q_0} \quad \text{和} \quad \lambda_2 = \frac{q_1 \lambda}{q_0}, \text{ 即得}$$

$$\rho_1 = \frac{\lambda}{q_0 \mu_1} \quad \text{和} \quad \rho_2 = \frac{q_1 \lambda}{q_0 \mu_2}.$$

再根据 $M/M/1$ 中公式 $T_s = \frac{\rho}{\lambda}$, 可以得到

$$T_{s_1} = \frac{1}{q_0 \mu_1} \quad \text{和} \quad T_{s_2} = \frac{q_1}{q_0 \mu_2}.$$

4.2 性能瓶颈分析

如果 $T_{s_1} > T_{s_2}$, 亦即, $\left(\frac{1}{q_0 \mu_1} > \frac{q_1}{q_0 \mu_2} \right)$, 一个应用程序要求的 CPU 服务时间的平均值大于数据库事务管理器服务时间, 在串行服务线上, CPU 是性能瓶颈.

如果 $T_{s_1} < T_{s_2}$, 亦即, $\left(\frac{1}{q_0 \mu_1} < \frac{q_1}{q_0 \mu_2} \right)$, 一个应用

程序要求的 CPU 服务时间平均值小于要求的数据库事务管理器服务时间,则,数据库事务管理器是性能瓶颈。

5 结束语

本文把排队网路理论中的理论和方法应用到数据库系统中各部件的瓶颈分析中,为查找数据库系统中的瓶颈提供一种有效的分析方法。

随着数据库系统规模的日益增大,数据库系统的性能分析和评价变得越来越重要,计算机系统的其它性能评价方法,比如随机 *petri* 理论^[6-7]都可以对数据库系统的分析提供不同的分析方法。

参考文献:

- [1] 吴庆春. 数据库性能优化主要方法[J]. 硅谷, 2010(3):53-53.
- [2] 李泽朋,王国良,刘学辉. 提高网络资源库性能的策略研究[J]. 计算机与网络, 2009(5): 51-53.
- [3] 刘琼,李世银,王秀娟. 自相似网络流量建模及分析[J]. 微电子学与计算机, 2009, 26(11): 131-134.
- [4] 林闯. 计算机系统性能评价[M]. 北京:清华大学出版社, 2003:74-87.
- [5] Abraham Siberschatz. 数据库系统概念[M]. 5版. 杨冬青,译. 北京:机械工业出版社, 2008:574-576.
- [6] Lin Zhang, Lars M, Kristensen. A coloured petri net

based tool for course of action development and analysis[C]//CRPIT '02 Proceedings of the conference on Application and theory of petri nets: formal methods in software engineering and defence systems-Volume 12. Australian Computer Society; 2002.

- [7] 王亚文,刘智平. 一种基于时间权重的 Petri Net 工作流程建模[J]. 微电子学与计算机, 2011, 28(3): 153-156.

作者介绍:



苏桂平 女, (1963—), 博士, 副教授, 硕士生导师. 研究方向为信息安全、计算机理论和应用。



李斌臣 男, (1987—), 硕士研究生. 研究方向为数据库性能分析与提升。

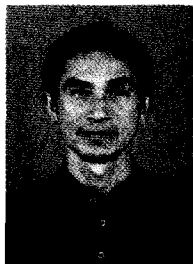
(上接第 99 页)

- [6] Sun J, Feng B, Xu WB. Particle swarm optimization with particles having quantum behavior[C]//Proceedings of 2004 Congress on Evolution Computation. Piscataway, NJ: IEEE Press, 2004:325-331.

史明岳 男, (1987—), 硕士研究生. 研究方向为无线传感器网络。

王婷婷 女, (1988—), 硕士研究生. 研究方向为智能信号处理。

作者简介:



王建华 男, (1956—), 副教授, 硕士研究生导师. 研究方向为雷达信号处理和智能控制。