

# MapReduce 性能预测模型构建

李振举,李学军,刘 涛,杨 晟

(装备学院 信息装备系,北京 101416)

**摘 要:**MapReduce 是目前大数据处理中应用最广泛的云计算模型,预测其性能有利于提高云计算的效率。然而 MapReduce 运行需要依赖大量的配置参数,这些参数会对 MapReduce 性能产生较大的影响。传统的 MapReduce 模型的配置参数的预测方法都是基于管理员经验的定性分析,无法准确预测 MapReduce 模型运行时间。为更好地对 MapReduce 性能进行预测,利用数学分析中的多元线性回归方法,在分析现有的影响 MapReduce 性能的配置参数的基础上,构建了 MapReduce 性能和其配置参数之间的多元线性回归模型。为了验证该方法的正确性,以两个最重要的配置参数 Map 和 Reduce 数量为例进行了算例验证。实验结果表明,多元线性回归模型可以用来预测 MapReduce 性能。

**关键词:**MapReduce;云计算模型;性能预测;多元线性回归模型

**中图分类号:**TP393

**文献标识码:**A

**文章编号:**1673-629X(2016)01-0070-04

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2016.01.014

## Performance Prediction Model Construction of MapReduce

LI Zhen-ju, LI Xue-jun, LIU Tao, YANG Sheng

(Department of Information Equipment, Equipment Academy of PLA,

Beijing 101416, China)

**Abstract:**MapReduce is the most popular cloud computing model in big data processing. Predicting the performance of MapReduce could be used to increase the cloud computing efficiency. However, MapReduce runs based on a huge number of configuration parameters which would affect the performance. Traditional predicting of configuration is based on the experience of administrator, and this approach is of low accuracy. In order to give a better prediction of MapReduce performance, a multiple linear regression model based on the configuration parameters was proposed. With the aim to verify the model, an experiment was carried out taking the Map number and Reduce number as an example. The experiments results indicate that the proposed model can be used in predicting the MapReduce performance.

**Key words:**MapReduce; cloud computing model; performance prediction; multiple linear regression model

## 0 引 言

MapReduce 编程模型<sup>[1]</sup>是目前应用最广泛的云计算模型之一。谷歌公司于 2004 年首先提出该模型,经过十余年的发展,该模型在海量数据处理的多个领域得到了应用,包括数据挖掘、信息处理<sup>[2]</sup>、计算机仿真和机器学习<sup>[3]</sup>等,模型的可扩展性和可靠性得到了验证。MapReduce 性能直接决定数据处理的效率,传统的研究多侧重于定性研究。考虑到 MapReduce 运行需要配置大量的参数,不同的参数会对性能产生不同的影响,这为使用参数预测 MapReduce 性能提供了可能。

以此为出发点,文中在对 MapReduce 性能问题描

述和分析性能影响因素的基础上,通过多元线性回归模型构建 MapReduce 性能和配置参数的数学关系,进而通过配置参数对 MapReduce 的性能进行预测。

## 1 问题描述

在任务运行过程中,MapReduce 可以划分为 Map、Reduce、Shuffle、Merge 等多个阶段。如图 1 所示,其中最重要的阶段为 Map 和 Reduce。

在 Map 阶段,输入文件复制到 MapReduce 的文件系统,按照用户设定的逻辑划分为小文件;Reduce 阶段通过网络密集型的作业对 Map 阶段产生的中间值进行处理。Map 阶段相同的 key 值将会在相同的 Re-

收稿日期:2015-04-16

修回日期:2015-07-22

网络出版时间:2016-01-04

基金项目:总装备部预研项目(513150701)

作者简介:李振举(1987-),男,博士研究生,研究方向为云计算、遥感大数据管理;李学军,教授,博士生导师,研究方向为计算机图形学、遥感图像处理、数字地球。

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20160104.1510.048.html>

ducer 上进行工作,输出结果会同时写入到文件系统中<sup>[4]</sup>。

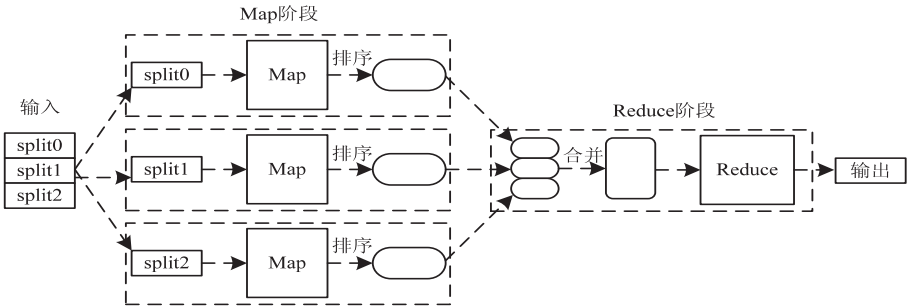


图 1 MapReduce 阶段划分

Map: (key<sub>i</sub>, value<sub>i</sub>) ® list(key<sub>m</sub>, value<sub>m</sub>)

Reduce: list(key<sub>m</sub>, value<sub>m</sub>) ® (key<sub>o</sub>, value<sub>o</sub>)

MapReduce 编程模型非常简洁,且具有时序性的特点,使用该模型处理一般问题时,需要按照 MapReduce 的运算逻辑将已有的算法转换为独立的 Map 函数和 Reduce 函数。该模型初始目的是计算大数据,对于数量较小的数据处理效率不高,会出现调度、效率和资源利用率下降的问题。

Emanuel Vianna 等<sup>[5]</sup>提出了结合图优先级模型和配对模型的层次模型来对 MapReduce 的工作流进行性能分析。

Shivnath Babu 等<sup>[6]</sup>提出了 MapReduce 任务性能评估的经验公式:

$$J = F_J(\vec{p} \in \vec{P}, \vec{r} \in \vec{R}, \vec{d} \in \vec{D})$$

(1)

其中,  $J$  表示 MapReduce 作业的性能指标(运行时间);  $\vec{p}$  表示运行任务  $J$  时的配置参数;  $\vec{r}$  表示运行时的资源分配;  $\vec{d}$  表示运行过程中的数据处理统计学特性。

Jiang Dawei 等<sup>[7]</sup>研究人员提出了影响 MapReduce 性能的五个参数: I/O 模式、索引、数据分解、分组机制和文件块级别的调度。

在数据流调度系统 FlowS<sup>[8]</sup>中,研究人员借助有向无环图( DAG)的概念,建立 MapReduce 任务与 Map

和 Reduce 数量之间的数学关系,如式(2)所示:

$$J = \{J_{name}, M, R, R_m, P, I, O\}$$

(2)

其中,  $J$  表示 MapReduce 任务的集合;  $J_{name}$  表示任务的名称;  $M$  表示任务执行时的 Map 操作;  $R$  表示任务执行时的 Reduce 操作;  $R_m$  表示为处理 Reduce 输出数据执行的 Map 操作;  $P$  表示配置参数;  $I$  表示输入数据类型;  $O$  表示输出数据类型。

可以看出,这里面配置参数只是作为 MapReduce 性能的一部分影响因素进行研究。

通过研究现状可以看出, MapReduce 性能研究侧重于定性研究,为了能够对 MapReduce 的性能进行预测,需要进一步明确 MapReduce 性能的影响因素。

2 MapReduce 配置参数

MapReduce 编程模型的设计理念是尽可能简化编程过程,因此将云资源的分配调度和参数配置优化交给用户。即使一个简单的 MapReduce 应用程序,也需要配置多个 MapReduce 运行参数,这要求管理员对于并行编程和集群管理有比较深刻的认识,对普通的 MapReduce 使用人员来说这往往是比较困难的<sup>[9]</sup>。

MapReduce 集群运行需要多个配置参数,进行性能预测就需要明确哪些配置参数会影响 MapReduce 的性能,根据相关研究成果和 MapReduce 使用经验,与 MapReduce 性能相关的参数如表 1 所示。

表 1 与 MapReduce 性能相关的参数

参数名称	参数描述	默认值	取值范围
mapred. reduce. tasks	reducer 任务的数量	1	[ 5,300 ]
io. sort. mb	为分类 Key-Value 键值对的 Map 函数缓存大小	100	[ 100,200 ]
io. sort. record. percent	io. sort. mb 元数据存储的比例	0.05	[ 0.05,0.15 ]
io. file. buffer. size	读取序列化文件的缓存大小	4 K	[ 4 K,32 K ]
mapred. child. java. opts	所有 mapper 和 reducer 的 java 参数	-Xmx200m	-Xmx[ 200 m,300 m ]
mapred. job. shuffle. input. buffer. percent	Shuffle 阶段 Map 函数相 Reduce 函数缓存的堆栈比例	0.7	[ 0.7,0.8 ]
mapred. job. shuffle. merge. percent	上一个参数的阈值,用来触发 merge 阶段	0.66	[ 0.66,0.8 ]
mapred. job. reduce. input. buffer. percent	Map 阶段向 Reduce 中输入数据所占的比例	0	[ 0,0.8 ]
dfs. replication	Hadoop 文件系统的块复制参数	3	[ 0,3 ]
dfs. block. size	Hadoop 文件系统的块的大小	64 MB	[ 4 MB,128 MB ]

不同的参数都会直接或间接对 MapReduce 的性能产生影响。对配置参数问题进一步进行探讨可以归纳出研究 MapReduce 性能需要解决的几个问题:首先,究竟哪些配置参数会影响 MapReduce 的性能;其次,这些配置参数的重要性是如何排列的,即如何确认最重要的配置参数;再次,如何在配置参数和 MapReduce 性能之间的建立数学模型;最后,给定一组特定的配置参数,如何利用数学模型求解其 MapReduce 程序的性能。

下面通过数学建模来解决这些问题。

### 3 模型建立

模型建立的目的是描述 MapReduce 云模型的应用程序的执行时间和任务配置参数之间的关系。多元线性回归模型<sup>[10]</sup>是进行预测的一种经典方法<sup>[11-12]</sup>。文中采用该模型预测 MapReduce 性能。

根据多元线性回归模型<sup>[13]</sup>,建立 MapReduce 性能与配置参数的关系为:

$$y = \alpha_0 + \alpha_1 x_1 + \alpha_2 x_2 + \cdots + \alpha_n x_n + \varepsilon \quad (3)$$

其中,  $y$  代表 MapReduce 程序运行时间;  $x_i$  表示影响其性能的第  $i$  个配置参数;  $n$  为配置参数的个数;  $\alpha_0$  表示回归常数;  $\alpha_i (i \in [1, n])$  表示回归系数;  $\varepsilon$  表示随机误差, 满足二次分布  $\varepsilon \sim N(0, \sigma^2)$ 。

由式(3)得到理论回归方程:

$$E(y) = \alpha_0 + \alpha_1 x_1 + \alpha_2 x_2 + \cdots + \alpha_n x_n \quad (4)$$

为求解方程, 通过多次实验得到多组测试数据, 将其中的一部分作为训练集, 另外一部分作为验证集用来做交叉验证。

设定为验证 MapReduce 性能模型进行实验的次数为  $m$ , 则可得到  $m$  组实验数据, 每组实验数据为  $y_i$ ,  $x_{1i}, x_{2i}, \cdots, x_{ni} (i \in [1, m])$ , 则式(3)可以演化为:

$$\begin{cases} y_1 = \alpha_0 + \alpha_1 x_{11} + \cdots + \alpha_n x_{n1} + \varepsilon_1 \\ y_2 = \alpha_0 + \alpha_1 x_{12} + \cdots + \alpha_n x_{n2} + \varepsilon_2 \\ \vdots \\ y_m = \alpha_0 + \alpha_1 x_{1m} + \cdots + \alpha_n x_{nm} + \varepsilon_m \end{cases} \quad (5)$$

MapReduce 性能向量用  $Y$  表示:

$$Y = [y_1, y_2, \cdots, y_m]^T$$

配置参数向量用  $X$  表示:

$$X = \begin{bmatrix} 1 & x_{11} & x_{21} & \cdots & x_{n1} \\ 1 & x_{12} & x_{22} & \cdots & x_{n2} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & x_{1m} & x_{2m} & \cdots & x_{nm} \end{bmatrix} \quad (6)$$

回归参数向量用  $\alpha$  表示:

$$\alpha = [\alpha_0, \alpha_1, \cdots, \alpha_n]^T$$

随机误差向量用  $\varepsilon$  表示:

$$\varepsilon = [\varepsilon_1, \varepsilon_2, \cdots, \varepsilon_m]^T$$

MapReduce 性能和配置参数的关系用矩阵形式描述如下:

$$Y = X\alpha + \varepsilon \quad (7)$$

对于  $m$  组实验数据, 利用最小二乘法可以得到每组数据对应的回归方程:

$$\hat{Y}_i = \hat{X}_i \alpha \quad (8)$$

在此方程基础上, 通过任意一组配置参数的值对 MapReduce 的执行时间进行估计, 得到估计值为  $\hat{Y}_0$ , 设实验中得到的实际值为  $Y_0$ , 则预测相对误差为  $\xi = (Y_0 - \hat{Y}_0) / Y_0$ 。通过误差分析可以确定模型的精确性。

### 4 算例分析

为了验证的模型的可行性, 以 Map 和 Reduce 的数量为例, 对 MapReduce 的预测模型进行算例验证。

#### 4.1 实验环境

实验采用的 Hadoop 版本为 0.20.205, 集群节点个数为 3, 块大小为 64 MB, JDK 版本为 OpenJDK 1.6。

算例验证采用的 MapReduce 性能测试标准为 MRBench<sup>[14]</sup>。MRBench 是基于 TPC-H 的基准测试工具, 可以用来评价不同参数下 MapReduce 的性能, 其工作原理是通过测量 MapReduce 处理大量关系型数据和执行复杂查询进行测试。MRBench 版本为 0.0.2。

#### 4.2 实验结果分析

在 Hadoop 集群下运行 MRBench 测试 50 次, 输入的测试数据共有  $R_{in} = 1\,000\,000$  行。Map 和 Reduce 数量取值范围为  $\lambda \in [1, 100]$ 。进行数据处理时, 将 50 次实验中的奇数次的实验结果作为训练集, 将偶数次的实验结果作为验证集。

利用式(8)求解方程的回归系数。得到回归系数为:  $\alpha_0 = 0, \alpha_1 = 28.072\,0, \alpha_2 = -25.211\,7$ 。

则线性回归模型可用式(9)进行表示:

$$y = 28.072\,0x_1 - 25.211\,7x_2 \quad (9)$$

用偶数次实验结果作为验证集, 如图2所示,

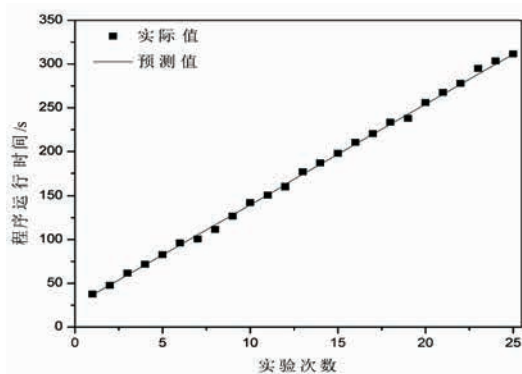


图2 多次实验实际值和预测值关系

“\*”表示实际实验中得到的数据,“-”表示使用线性回归得到的理论值。

对实验结果进行精度分析,得到预测结果相对误差随实验次数变化曲线如图3所示。可以看出,相对误差控制在5%以内,证明建立的模型是正确的。

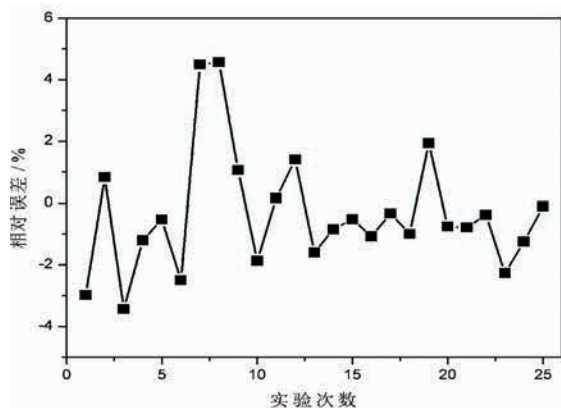


图3 实验结果相对误差变化曲线

为了更清晰地显示 Map 数量和 Reduce 数量和 MapReduce 性能之间的关系,从实验数据中取特定几组实验结果使用 Matlab 进行绘图。图4显示 Map 数量取值范围在  $N_{\text{Map}} \in \{9, 18, 24, 36\}$  变化时,不同的 Reduce 数量  $N_{\text{Reduce}} \in \{5, 10, 15, 20\}$  下对 MapReduce 运行时间的影响。

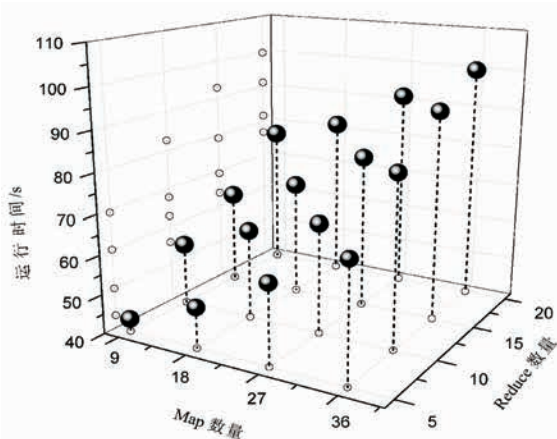


图4 程序运行时间和 Map 数量、Reduce 数量之间的关系

从图4可以看出,从整体趋势上看,Map 数量和任务运行时间的变化成正比例关系,Map 数量越多,任务运行时间越长。Map 数量恒定的情况下,Reduce 数量越多,任务运行时间越长。Reduce 数量对任务运行时间的影响与之相似。

## 5 结束语

为了对 MapReduce 性能进行预测,文中使用多元线性回归数学方法建立了 MapReduce 运行时间和 Hadoop 集群配置参数之间的数学模型。以 Map 和 Re-

duce 的数量为参数进行了算例分析。实验结果表明,文中提出的多元线性回归模型在 MapReduce 性能预测中是可行的。考虑到文中算例分析中只是对最典型的配置参数 Map 数量和 Reduce 数量对 MapReduce 性能的影响进行了研究,下一步工作是研究其他配置参数对 MapReduce 性能的影响,并通过显著性分析确定各个影响因素在 MapReduce 程序运行中的重要性。


## 参考文献:

- [1] Dean J G S. MapReduce; simplified data processing on large clusters[J]. Communications of the ACM, 2008, 51(1): 107-113.
- [2] 丁琳琳, 信俊昌, 王国仁, 等. 基于 Map-Reduce 的海量数据高效 Skyline 查询处理[J]. 计算机学报, 2011, 34(10): 1785-1796.
- [3] 覃雄派, 王会举, 杜小勇, 等. 大数据分析—RDBMS 与 MapReduce 的竞争与共生[J]. 软件学报, 2012, 23(1): 32-45.
- [4] Jahani E, Cafarella M J, Ré C. Automatic optimization for MapReduce programs[J]. Proceedings of the VLDB Endowment, 2011, 4(6): 385-396.
- [5] Vianna E, Comarela G, Pontes T, et al. Analytical performance models for MapReduce workloads[J]. International Journal of Parallel Programming, 2013, 41(4): 495-525.
- [6] Babu S. Towards automatic optimization of MapReduce programs[C]//Proceedings of the 1st ACM symposium on cloud computing. [s. l.]: ACM, 2010: 137-142.
- [7] Jiang D, Ooi B C, Shi L, et al. The performance of MapReduce: an in-depth study[J]. Proceedings of the VLDB Endowment, 2010, 3(1-2): 472-483.
- [8] 李奇原, 刘杰, 叶丹, 等. FlowS: 一种 MapReduce 数据流公平调度方法[J]. 计算机科学, 2012, 39(9): 157-161.
- [9] Lama P, Zhou X. Aroma: automated resource allocation and configuration of MapReduce environment in the cloud[C]//Proceedings of the 9th international conference on autonomic computing. [s. l.]: [s. n.], 2012: 63-72.
- [10] 辛涛. 回归分析与实验设计[M]. 北京: 北京师范大学出版社, 2010.
- [11] 宋云雪, 张科星, 史永胜. 基于多元线性回归的发动机性能参数预测[J]. 航空动力学报, 2009, 24(2): 427-431.
- [12] 刘迪, 翟季冬, 陈文光. 基于回归模型的高端容错计算机 TPC-C 性能估算研究[J]. 计算机学报, 2013, 36(6): 1267-1279.
- [13] 孙毅, 刘仁云, 王松, 等. 基于多元线性回归模型的考试成绩评价与预测[J]. 吉林大学学报: 信息科学版, 2013, 31(4): 404-408.
- [14] Kim K, Jeon K, Han H, et al. Mrbench: a benchmark for MapReduce framework[C]//Proc of 14th IEEE international conference on parallel and distributed systems. [s. l.]: IEEE, 2008: 11-18.

MapReduce 性能预测模型构建

作者：[李振举](#)，[李学军](#)，[刘涛](#)，[杨晟](#)，[LI Zhen-ju](#)，[LI Xue-jun](#)，[LIU Tao](#)，[YANG Sheng](#)

作者单位：[装备学院 信息装备系, 北京, 101416](#)

刊名：[计算机技术与发展](#)

英文刊名：

年，卷(期)：2016(1)

引用本文格式：[李振举](#). [李学军](#). [刘涛](#). [杨晟](#). [LI Zhen-ju](#). [LI Xue-jun](#). [LIU Tao](#). [YANG Sheng](#) [MapReduce 性能预测模型构建](#)[期刊论文]-[计算机技术与发展](#) 2016(1)