

并行数据库查询优化技术研究

目录

- 1. 引言 2
 - 1.1 技术背景 2
 - 1.2 拟解决的问题 2
- 2. 传统优化方案 2
 - 2.1 基于左线性树的查询优化算法 2
 - 2.2 基于左线性树的查询优化算法 3
- 3. 新优化方案论述 3
 - 3.1 多重加权优化树方法 3
 - 3.2 基于 Agent 技术的语义查询优化方法 4
 - 3.3 语意查询模型 4
 - 3.4 遗传算法 5
- 4. 分析评价 6
 - 4.1 遗传算法分析 6
 - 4.2 BGA 算法分析 6
- 5. 结论 7
 - 5.1 结论 7
 - 5.2 展望 7
- 6. 参考文献 8

1. 引言

1.1 技术背景

随着信息技术的发展网络的普及，各种应用业务需处理的数据量日益增长。对于大部分企业来说，数据规模已达 TB 级以上，数据的爆炸性增长对企业服务器的数据处理能力提出了更高的要求。但由于传统数据库系统固有的 I/O 瓶颈和 CPU 瓶颈问题，一般意义上的服务器已经不能满足存储和访问的要求。

1.2 拟解决的问题

对于企业来说，为解决服务器的这些问题，很有必要设计一种基于多 PC 的并行数据库管理模式。并行数据库查询优化的研究的主要焦点是：拥有多个连接 (JOIN) 操作的比较复杂的关系数据库查询 (MJ) 是如何优化的。而这种 MJ 查询优化的研究主要表现在以下两个方面：查询执行计划的模型如何设计；MJ 查询优化都有哪些算法。事实上，二者的关系是非常密切的。本文将对并行数据库查询优化技术的进步作一个回顾及前瞻性展望。

2. 传统优化方案

1990, Schneider 等研究了查询树模型，提出了左线性树、右线性树和浓密树的概念。如果用 V 表示结点集合， E 表示边集合，那么，查询树 $G = (V, E)$ 就可以表示为一个 MJ 查询。其实，MJ 查询的查询树就是一个二叉树。因为，该查询树上的每个叶子结点就是代表一个关系，而每一个内结点又表示一个连接 (JOIN) 操作，还同时这个内结点又代表这个连接 JOIN 操作的结果，树上每条边就是一个连接 JOIN 操作，而且边也可用来表示 JOIN 谓词。根据运算进行的方向，查询树可以划分为 3 种类型：浓密树、右线性树和左线性树。

2.1 基于左线性树的查询优化算法

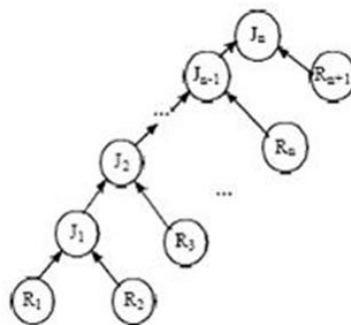


图 1: 左线性树

Schneider 给出了一种以左线性树和 HASH-JOIN 算法为基础的 MJ 查询的优化方法，以下简称 LDT 方法。图 1 给出了具有 N 个 JOIN 操作的 MJ 查询的左线性树及其数据相关图，所指框必须在箭尾所连框之后执行。给定 MJ 查询 Q ， Q 的每个左线性树都包含唯一一个具有最高并行性的查询计划，称为 Q 的左线

性树优化并行查询计划。使用 Chen M S.等人的方法，可以得到 MJ 查询优化算法（LDT 算法）。

2.2 基于右线性树的查询优化算法

仔细分析基于 MJ 查询的左线性树优化并行查询计划，它最多只允许两个连接 JOIN 操作并行执行，所以，充分发挥数据操作间的并行性不能依靠这种方法，必须另寻他路。

Schneider 等为了解决这个问题，深入研究了建立在右线性树基础上的 MJ 查询优化问题，设计出了一种方案：使用数据相关图概念，改良右线性树的优化执行计划。图 2 给出了具有 N 个 JOIN 操作的 MJ 查询的右线性树表示及其数据相关图。

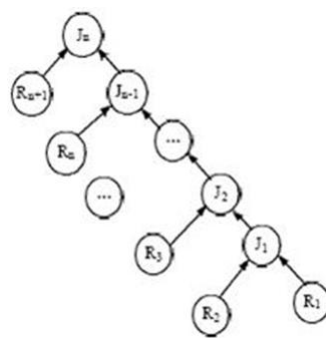


图 2: 右线性树

2.3 基于浓密书的查询优化算法

1991 年，Lu 等提出了基于浓密树 GBT（general-bushy-tree）的 MJ 查询优化算法，他们把查询计划分为同步和非同步两类。GBT 查询优化方法具备了很高的并行性，但浓密树的查询执行计划空间十分庞大，因此，查询优化算法的开销也非常大。2006 年，厉阳春提出的线性浓密树（linear-bushy-tree, LBT）模型，利用了线性树和浓密树的特性，具备很高的并行性和相对 GBT 较小的搜索空间。厉阳春分析 LBT 树的搜索空间的下界、上界，并与 GBT 树作了对比。

3. 新优化方案论述

3.1 多重加权树优化方法

李建中提出了一种基于多重加权树的查询优化方法，包括多重加权树并行查询计划模型、并行查询计划的复杂性模型和查询优化算法，该方法能够处理最常用的选择-投影-连接查询，支持多种并行连接算法，包括流水线缓冲区的存储器优化分配算法、数据操作的处理机与存储器优化分配算法和连接操作实现算法的优选算法。该方法主要特点如下：

（1）提出了既能表示并行数据库查询的 3 种固有并行性也能表示数据操作的处理机和存储器分配、流水线缓冲区的存储器分配、数据再分布的多重加权树查询计划表示模型；

(2) 推导出了流水线并行计算等待时间的数学模型,给出了包括流水线并行计算等待时间的多重加权树并行查询计划的复杂性模型及其自底向上的计算方法;

(3) 提出了能够处理最常用的选择-投影-连接查询 (SPJ 查询) 的查询优化算法;

(4) 查询优化算法能够支持多种并行连接算法,提供了连接操作实现算法的启发式优选算法;

(5) 查询优化算法提供了优化的流水线缓冲区存储器分配算法、基于工作量比例和数据处理量比例的数据操作的处理机和存储器分配算法。

在这种方法下建立了一个新的查询计划模型,结点加权函数 $F1$ 表示数据操作的处理机和存储器分配以及数据操作本身的并行性,边加权函数 $F2$ 表示数据操作间的流水线并行性。当边($op1, op2$)的权为(m, P)时,表示 $op1$ 和 $op2$ 按照流水线方式并行执行,流水线数据缓冲区大小为 m ,当($op1, op2$)的权为(o, S)时,表示 $op1$ 和 $op2$ 顺序执行。在这个模型中,所有独立无关的数据操作都在树的不同路径上,表示了数据操作间的独立并行性。不仅如此,李建中还提出了一个多重加权树并行查询计划的复杂性模型,该模型由两部分组成,一部分是单个数据操作的响应时间,另一部分是整个查询计划的响应时间。单个数据操作的响应时间是一个多变量函数 $rtime(op, n, m, \rho)$,其中, op 是数据操作, n 是分配的处理机数, m 是分配的存储器容量, ρ 是操作关系大小的集合。

李建中所作的工作深化了对查询树模型的应用研究,尤其是其所提出的多重加权树并行查询计划的复杂性模型,不仅引入了“加权树”的概念,还将单个数据操作的响应时间和整个查询计划的响应时间作了细致的研究;不仅提出了模型,还给出一种启发式动态规划并行查询优化算法——HDPO;不仅做了理论研究,还应用到其设计与实现的并行关系数据库管理系统原型中。

3.2 基于 Agent 技术的语义查询优化方法

随着人工智能中 Agent 技术的广泛使用,用 Agent 自动查找约束条件,从而实现基于 Agent 的并行数据库查询优化,这是许新华等人所作的最新工作。该语义查询优化方法不是简单摒弃传统的查询优化方法,而是采用 Multi-Agent 技术自动查找与给定查询有关的完整性约束条件,然后,修改给定的查询为更有效的等价查询,使得多个关系间连接操作的效率得到很大的提高,从而达到查询所期望达到的减少连接操作、缩短查询时间的优化效果,实现了基于 Agent 的语义查询优化。

3.3 语义查询模型

许新华等人提出了一种基于 Multi-Agent 技术的语义查询模型 (SQMAS),并以此模型为基础建立了一种基于 Agent 的并行数据库语义查询方法;同时为了保证系统组内、组间 Agent 之间的高效通信,采用了树型拓扑结构(TTMAS)的通信模型,系统内各 Agent 使用通信原语高效通信、协作,且满足 Agent 间的通信路由最优,从而保证了 SQMAS 的查询效率。

SQMAS 模型如图 3 所示。树型拓扑结构(TTMAS)的通信模型如图 4 所示。

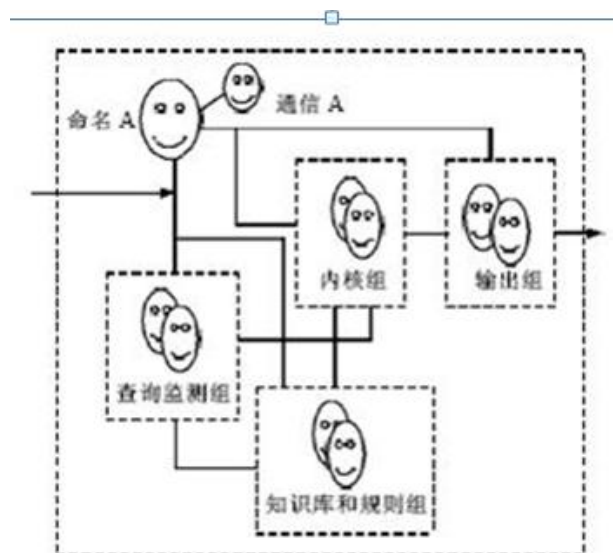


图 3:SQMAS 模型

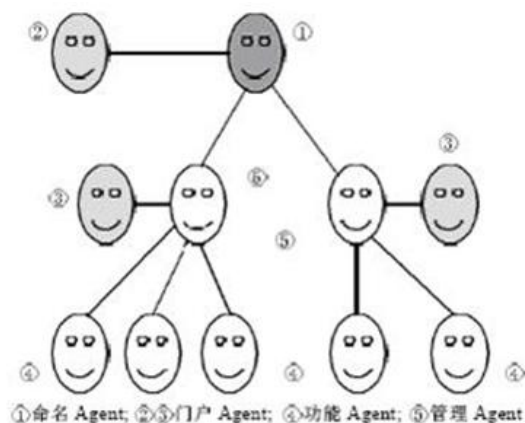


图 4：树型拓扑结构（TTMAS）的通信模型

许新华分析了语义查询的 4 种类型，并做了对比实验。二次实验的主要差别在于图书登记表 **BOOKS** 容量，第一次有 2 万个元组，第二次有 5 万个元组。理论分析和模拟对比试验表明，利用 **SQMAS** 模型设计的语义查询优化算法能够显著提高查询效率，对于中间结果可能出现 100000 条元组的查询操作而言，采用语义查询，整体运行时间可以节约 30% 以上；并且可以推测，关系元组数目越大，查询效率越高。

3.4 遗传算法

遗传算法（genetic algorithm, GA）是近年发展起来的一种崭新的全局优化算法，1962 年由 Holland 教授首次提出，它借用了生物遗传学的观点，通过自然选择、遗传、变异等作用机制，实现各个个体的适应性的提高。这一点体现了自然界中“物竞天择、适者生存”进化过程。

1991 年，Kristin Bennett 等人开遗传算法应用于数据库领域之先河，将遗传算法应用于顺序数据库的查询优化中。1996 年，Michael Stillger 等人提出使用遗传算法来进行并行查询优化，该方法考察了算子间的并行和流水并行，可惜的

是，没有考虑算子内如何实现并行，也没有合并资源的分配信息到并行查询优化的代价模型中。2002 年，曹阳等人提出了使用遗传算法进行多连接表达式的并行查询优化。曹阳文中有关并行调度的讨论和代价估算建立在无共享资源的体系结构的假设上，忽略了通信代价。但是实际上，在这种体系结构中网络的通信代价是相当大的，而曹文却没有将其考虑在内，这令人不满意。

玄萍将对传统的遗传算法进行改进，提出基于遗传算法的适合机群环境下多连接查询的并行优化算法。特别是机群环境下，数据的通信代价是不容忽视的，已有基于遗传算法查询优化方法中的资源分配算法，均没有充分考虑到关系的物理存储情况。玄萍深入研究了基于机群并行数据库中关系存储的选择、多连接查询优化和查询处理等关键技术。首先，关系的分布算法在选择关系的分布属性、分布方式和处理机集合时，充分考虑了机群系统中引起数据重分布的因素，减少了额外的通信开销；同时兼顾了并行系统中的 3 种并行。其次，查询优化部分提出了基于遗传算法的机群环境下多连接查询的并行优化算法（BGA）。算法研究了资源分配在查询执行代价估算中的作用和方法，提高了查询优化的效率。与此同时，为了节省网络通信的开销，查询计划代价模型的计算将网络的通信代价考虑在内，充分利用了查询中各关系的物理存储信息，减小了不必要的通信开销。再次，对于查询处理部分，该文基于分布式组件对象模型，实现了并行数据库查询处理的数据重分布算法、连接算法和流水线执行算法等查询处理算法以及并行查询计划的调度执行算法，开发了算子内并行、算子间并行和流水线并行等多种类的并行，提高了多连接查询的执行效率。最后，通过对基于最小中间结果的贪心算法、基于右线形树的启发式算法和 BGA 算法的模拟实验，对比了 3 种算法的性能。实验结果说明，BGA 算法解决了多连接查询优化的诸多问题，同时较大的提升了机群系统中多连接查询优化的性能，从而对提高并行数据库的综合性能起到具有重要意义。

4. 分析评价

4.1 遗传算法分析

已有研究表明，Agent 技术和语义优化方法可以“嫁接”起来，开拓了查询优化的新思路。对目前使用遗传算法进行查询优化的方法中，存在两个问题：①在估算查询计划的代价时，没有考虑资源的分配情况，数据操作间的并行性得不到充分的开发；②在无共享体系结构的查询优化中，没有考虑网络的通信代价，无法避免额外的通信开销。

4.2 BGA 算法分析

BGA 算法是一阶段优化算法，算法本身也具有固有并行性。并行化 BGA 算法是降低查询执行时间的有效途径。因此，算法的并行化是未来的工作。另外，和已有的研究成果一样，文献[14]的优化算法是在数据在数据库中均匀分布的假设基础上进行的，没有考虑数据的偏斜，所以抗数据偏斜影响的并行查询优化算法有待于我们更加深入的研究。

5. 结论

5.1 结论

最近几年，计算机机群技术蓬勃发展，如 MPI (message passing interface)、PVM (parallel virtual machine) 等系统引起了人们的极大关注。已成为十分活跃的研究领域。机群并行计算环境是一个典型的 SN 结构并行计算环境。

机群并行计算机系统是并行处理技术的一个重要分支，是进行高性能计算的一个有效途径，必将主宰并行计算技术的发展。机群并行计算系统十分符合我国的国情。

5.2 展望

鉴于这些原因，研究基于机群系统的并行数据库的多连接查询优化、查询处理等关键技术有着很强的现实意义。遗憾的是，目前这种研究和实践比较欠缺，继续研究者努力。随着人工智能中 Agent 技术的飞速发展，MAS (multiagent system) 技术在多个领域都取得了令人瞩目的成果，将 MAS、专家系统引入并行数据库的查询优化领域，无疑是另一个重要的方向。算法研究方面，遗传算法才刚起步，A 算法、A*算法、模拟退火算法、神经网络算法]在计算机的诸多方面都取得了巨大的成绩，但在并行数据库的查询优化方面基本上还是一个空白，亟需广大专家、学者积极探索。

6. 参考文献

- [1] 并行数据库查询优化技术的最新进展 许新华;唐胜群;宋振云;万学斌 计算机工程与设计 2009 (16)
- [2] 浅谈对并行数据库的认识 张立荣 价值工程 2010 (11)
- [3] Chen M S. Using segmented right-deep tree for the execution of pipelined hash joins. Proceedings of International Conference on Very Large Data Bases. 2001:89-95
- [4] 并行数据库查询优化技术研究 徐丽萍,金雄兵,赵小松 华中科技大学学报(自然科学版) 2006 (3)
- [5] 日新月异的数据库研究领域——数据库技术的回顾与展望 李建中 黑龙江大学自然科学学报 2002 (2)
- [6] 语义完整性在查询优化中的应用 许向阳,冯玉才,王元珍 小型微型计算机系统 1996 (10)
- [7] 查询语义优化 许向阳 微型机与应用 1998 (3)
- [8] 数据库的语义查询优化方法研究 许新华 湖北职业技术学院学报 2006 (1)
- [9] 并行数据库的语义查询优化研究:基于 Agent 许新华,谌颀,李春 西南师范大学学报(自然科学版) 2007 (4)
- [10] Parallel Query Optimization Techniques for Multi-Join Expressions Based on Genetic Algorithm CAO Yang,FANG Qiang,WANG Guo-ren,YU Ge. Chinese journal of Advanced Software Research 2002, 13 (2)
- [11] 并行数据库查询优化的遗传算法 玄萍 哈尔滨:黑龙江大学 2004