

# 提高 OLAP 系统性能的方法研究

辛志<sup>1</sup> 刘少辉<sup>2</sup> 史忠植<sup>2</sup>

(中国科技大学研究生院 北京100039)<sup>1</sup>

(中国科学院计算技术研究所智能信息处理重点实验室 北京100080)<sup>2</sup>

## The Research on the Methods for Improving the OLAP System Performance

XIN Zhi<sup>1</sup> LIU Shao-Hui<sup>2</sup> SHI Zhong-Zhi<sup>2</sup>

(Graduate school of University of Science and Technology of China, Beijing 100039)<sup>1</sup>

(The Key Laboratory of Intelligent Information Processing, Institute of Computing Technology, Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100080)<sup>2</sup>

**Abstract** This paper is the result of a study on Online Analytical Processing(OLAP), it studies the relational methods that can improve the system performance of OLAP. Finally according to the respective strengths and weaknesses of ROLAP and MOLAP, it provides a query solution that combines ROLAP with MOLAP. This solution's applicability becomes more extensive.

**Keywords** Online analytical procession, Multi-dimensional storage structure, Star schema, Materialized view

### 1. 引言

随着市场竞争的日趋激烈,近年来企业更加强调决策的及时性和准确性,这使得以支持决策管理分析为主要目的的应用迅速崛起,这类应用被称为联机分析处理(OLAP),OLAP应用主要是指通过各种即席复杂查询,对数据仓库中存储的数据进行各种统计分析的应用。由于各种OLAP查询涉及大量的数据,非常复杂,并要求比较快的响应速度,因此除了研究如何形式化描述OLAP查询与操作外,还需要研究各种OLAP查询和处理的有效方法。本文首先介绍OLAP的概念和分类,然后研究了提高OLAP系统应用性能的主要的技术。文章的第四部分分析ROLAP和MOLAP两种方式的优缺点,给出了一个结合ROLAP和MOLAP的查询解决方案。最后给出结论和进一步的研究方向。

### 2. OLAP 概念和分类

联机分析处理(Online Analytical Processing, OLAP)的概念最早由 E. F. Codd<sup>[1]</sup>提出, Nigel Pendse<sup>[22]</sup>对 E. F. Codd的定义进行了补充,从而提出了OLAP应具有的18种特性,并将OLAP定义简化为对于多维共享信息的快速分析(Fast Analysis of Shared Multidimensional Information, FASMI)。下面对此定义进行介绍。

- 1)快速:意味着对于大部分用户查询请求的反应时间要短于5秒,简单查询要少于1秒,很少查询超过20秒;
- 2)分析:要求系统能够处理大部分与用户和应用有关的逻辑和统计分析,并且使得用户能够很简单地应用;
- 3)共享:要求系统能够提供足够的安全机制,使得多个用户的并发读写成为可能;
- 4)多维:这是OLAP的最基本要求,要求能够对数据提供多维视图,能够提供多层的层次机制;

5)信息:不论数据量有多大,也不管数据存储在哪里,OLAP系统能及时获得信息,并且管理大容量信息。

目前,市场上已有多种以多维数据分析为目标的OLAP软件工具和工具集。从总体上看,它们一般以下面两种方式组织数据。(1)建立专用的多维数据库系统,称之为MOLAP。(2)利用现有的关系数据库技术来模拟多维数据,称之为ROLAP。另外还有一种结合ROLAP和MOLAP的技术,称之为HOLAP。它们各有自己的特点。

#### 2.1 ROLAP

ROLAP表示基于关系数据库的OLAP(Relational OLAP),以关系数据库为基础,以关系型结构进行多维数据的物理存储。ROLAP将多维数据划分为两种表:一种是事实表,用来存储大批数据和维关键字;另一种是维表,即对每个维至少使用一个表来存放维的层次、成员类别等维的描述信息。维表和事实表通过主关键字和外关键字联系在一起,形成了“星型模式”。对于较为复杂的维,为减少冗余并节省存储空间,可以使用规范化表示,即用多个表来描述,这种星型模式的变种称为“雪花模式”。无论采用星型模式还是雪花模式,关系型联机分析处理都具有以下特点:

- 1)数据结构和组织模式需要预先设计和建立。
- 2)数据查询需要进行表连接,在查询性能测试中往往是影响速度的关键。
- 3)数据汇总查询(例如查询某个月份的销售额),需要进行Group by操作,虽然实际得出的数据量很少,但查询时间变得更长。

#### 2.2 MOLAP

MOLAP表示基于多维数据组织的OLAP实现。以多维数据组织方式为核心,也就是说,MOLAP使用多维数组存储数据。多维数据在存储中将形成“立方块(Cube)”的结构,每个立方块是I/O读写的基础单位,所有的立方块组成了数据

史忠植 研究员,博士生导师,研究方向:人工智能、智能主体、机器学习。刘少辉 博士生,研究方向:机器学习、数据挖掘。李 李 硕士生,研究方向:OLAP,数据挖掘。

2003年5月

文件,稀疏维的组合组成了索引文件,索引文件的每一个数据纪录的末尾都带有一个指针,指向要读写的立方块。因此,MOLAP方式基本上是索引搜索与直接寻址的查询方式相结合,比起ROLAP的表/索引搜索和表连接方式,速度要快得多。多维联机分析处理有以下特点:

1) 数据查询采用索引搜索与直接寻址的方式相结合,不需要进行表连接,在查询性能测试中比起ROLAP有相当大的优势;

2) 在进行数据汇总查询之前,MOLAP需要预先按概要文件中定义的数据汇总关系进行计算,这个计算通常以批处理方式运行。计算结果回存在数据文件中,当用户查询时,直接调用计算结果,速度非常快。

3) 无论是数据汇总还是计算衍生数据,预先计算的方式实际上是用空间来换时间。当然,用户也可以选择动态计算的方式,用查询时间来换取存储空间。MOLAP可以灵活调整时空的取舍平衡。

### 2.3 HOLAP

HOLAP是混合OLAP方法,它结合ROLAP较大的可伸缩性和MOLAP的快速计算特点。它将大量详细数据存放在关系数据库中,而聚集计算保持在分离的MOLAP存储中。

## 3. 提高OLAP性能的方法

由于各种OLAP查询涉及大量的历史数据,非常复杂,并且要求比较快的响应速度,因此除了研究如何形式化描述OLAP查询与操作外,还需要研究各种OLAP查询和处理的有效方法。

### 3.1 索引技术

数据仓库中的数据很少修改,这种只读的环境使得创建各种复杂的索引成为可能,因此可以采用新的索引技术来提高OLAP查询的速度。

位图索引方法在OLAP方法中很流行,因为它允许在数据立方体快速检索。其主要思想是使用位序列表示稀疏属性的值,在给定的属性的位图索引中,属性域中的每个值,有一个不同的位向量,这样属性值对应若干个位向量,这组位向量就称为该属性的位图索引。如果给定的属性域包含 $n$ 个值,则位图索引中每项需要 $n$ 位。如果数据表中给定的属性值为 $v$ ,则在位图索引的对应行,表示该值的位为1,改行的其他位均为0。与Hash和树索引相比,位图索引有优势。对于基数较小的域它特别有用。由于字符串可以用单个位表示,因此大大降低了空间和I/O开销。同时因为比较、连接和聚集操作都变成了位算术运算,也大大减少了运行时间。另外位图索引更加紧凑,并能够使用压缩技术。当关系表的数据量很大时,连接运算的速度通常很慢。但是数据仓库的星型模式模型使得连接索引可以加快连接查询的速度。因为事实表和它对应维表的连接属性是事实表的外关键字和维表的主关键字。连接索引维的属性值和事实表的对应行之间的关系。连接索引可以跨越多维,形成复合连接索引。因此可以基于位图索引技术建立连接索引加快数据查询的速度<sup>[2]</sup>。除了位图索引技术外,可以基于R树<sup>[3]</sup>来存储数据仓库中的多维数据从而加快查询的速度。另外还可以使用多维索引技术<sup>[4]</sup>来进行数据组织,有效地支持各种OLAP查询。

### 3.2 数据分区

随着数据仓库中的数据急剧增长,数据的载入/载出、备

份/恢复占用了大量的时间,也使数据库管理员的任务变得复杂、繁琐,直接影响系统的可用性。所以,为了便于管理,提高关键数据的可用性,提高查询的性能,数据分区技术是解决数据库响应速度的一个行之有效的方法。所谓数据分区技术,就是通过特定的算法将数据放在多个不同的节点上,然后并发地访问节点上的数据。可以用不同的方式分区数据,包括范围分区、哈希分区、模式分区(通过表)和混合模式分区。

目前常用的方法是基于一定的关键值把大表和索引分为若干可管理的分区,由于每个分区的操作是相对独立的,从而避免了对每个大的、单独的对象进行管理。也避免了因一部分数据的无法访问而影响其他分区的数据的使用。这带来几方面的好处:

1) 提高可伸缩的性能,只对存有被查数据的分区进行查找,减少了需要进行管理操作的时间,加快了速度。另外对表分区还可以创建单独的索引分区,从而限制了需要进行索引维护操作的时间。此外,还提供了种类繁多的局部和全局的索引技术。分区操作也可以通过增强的并行处理来提高性能。

2) 备份/恢复可以以分区为单位进行,减少管理时间;管理员可以指定每个分区的存储属性,分区在宿主文件系统中的放置情况,这样便增加了对超大型数据库的控制粒度。分区可以被单独地卸出或装入(taken off-line or brought on-line),备份,恢复,转出和转入(exported and imported),以及加载,因此减少了需要进行管理操作的时间。

3) 分区技术提高了数据的可用性,数据是基于分区管理的,当部分数据由于故障或其它原因不可用时,其它分区内的数据可不受影响继续使用。硬件的失败只会影响本地分区,不影响其他分区上的数据的操作,从而减少了数据库失败带来的影响,提高系统的可用性。

4) 分区的机制,对应用系统是透明的,可以通过标准的SQL语句对分区表进行操作。在进行查询时,系统会分析数据的分区情况,那些不包含任何查询数据的分区将被忽略,从而大大提高系统的性能。

### 3.3 实物化视图技术

OLAP查询通常会比较复杂,而且会涉及到大量的历史数据。如果在原始数据上直接进行查询,就会耗费大量的时间。因此为满足用户的需求,一些系统常把有关查询信息另存为一个特殊的表中,即预先生成部分的汇总数据,对于任何查询,利用这些特定的汇总数据都能给予回答,而且时间和空间上都是最优的。人们将这些查询的结果存储起来并称之为实物化视图(Materialized View)。这样通过预先计算的结果,来提高查询处理的响应速度。预先生成实物化视图会占用大量的存储空间,因此需要根据用户的需求以及系统可用的存储空间,选择视图来进行实物化。而且为提高实物化视图的利用效率,还可以在视图之上建立索引<sup>[5]</sup>。

实物化视图的元组物理存储可加速访问速度,同时也带来了数据源更新导致的视图数据不一致问题,在许多数据仓库应用中,比如银行业、零售业等行业由于数据量非常大,视图数据不一致现象大量存在,数据的一致性成为十分重要的问题<sup>[6]</sup>。视图维护是指由于给定的数据源的改变而引起一系列视图的改变,这些改变导致视图的更新。视图维护所涉及到的工作主要包括自我维护性和一致性和有效性更新转换。目前有一些实物化视图进行维护的方法<sup>[7-9]</sup>,本文对此进行了探讨。另外有些方法讨论了实物化视图的自维护问题<sup>[10,11]</sup>,以及在无法修改数据源的应用的情况下,使用快照的方法<sup>[12]</sup>有效

地获得数据源的更远数据。

### 3.4 查询处理与查询优化技术

相对以往的 OLTP 应用, OLAP 应用具有了新的特点,例如要求系统能够处理大部分与用户和应用有关的逻辑和统计分析,并且使得用户能够很简单、快速地应用等。因此除了使用传统的查询处理和查询优化技术以外,还需要发现新的查询处理和查询优化技术。

多表连接和分组聚集在 ROLAP 查询中通常都是非常耗时的操作,因此提高 OLAP 查询性能的关键就是提高这两个操作的性能。目前已经提出了许多结合分组聚集操作的查询优化方法<sup>[12]</sup>,例如基于代价估计来调整分组聚集在查询处理计划中位置的查询优化方法<sup>[13]</sup>,基于查询代码自适应的并行聚集算法<sup>[14]</sup>(提高了分组聚集的性能),以及采用关键字映射技术的查询处理算法<sup>[15]</sup>。

### 3.5 近似查询处理技术

近似查询处理技术的研究动机早期(90年代初)主要是在实时数据库中,由于时间的限制不能给出精确结果或由于网络等问题不能查询到需要的数据而只能给出近似结果,研究主要针对非聚集查询,对查询结果的近似是基于子集和超集的定义。近年来由于数据量的迅速膨胀,近似查询处理技术又成为一个十分活跃的研究领域,在数据仓库环境下,对近似查询的研究主要针对开销昂贵的、在数据分析领域(例如 OLAP)中常用的聚集查询操作。

一个处理大数据集常用的技术是对原始数据集进行抽样。因为抽样的数据集中的每一组观测值都有相同的被抽样的概率,所以随机抽样被用作建立查询结果集<sup>[20]</sup>。另外还有其它的抽样方法,例如按照一定比例把所有的数据集进行等距抽样,从输入数据集的起始处按照一定百分比进行起始抽样,或者按照观测值的某种属性进行抽样等。除了使用抽样进行近似查询处理外,还有的采用直方图和小波变换技术<sup>[21]</sup>对数据进行预处理,然后在处理后的数据上进行查询操作,提高查询速度。

因为 OLAP 应用需要有快速的特点,即对于大部分用户查询请求的反应时间要短于5秒,简单查询要少于1秒,很少查询超过20秒,所以对于一些需要很长时间执行的应用请求,不是让用户一直等待,而是在系统运行时给用户反馈,用户可以控制系统的执行,该技术应用到查询领域,则表现为对于复杂的聚集查询,突破传统先排序的聚集查询算法,采用非阻塞的连接操作<sup>[19]</sup>,对聚集查询的各组数据同时计算,尽快给出近似的查询结果,并给出置信区间,然后逐渐细化查询结果。

### 3.6 多维存储结构

为方便高效地进行多维数据分析,就需要采用多维数组存储方式来进行多维数据的物理存储组织,也就是将事实数据直接存储为多维数组。多维数据直接存储到多维数组中,能够在多维数组的基础上方便地进行各种 OLAP 操作,OLAP 查询处理的响应速度很快,但当数组容量过大并且非常稀疏时,采用多维数组方式相应也会带来一些问题,例如数组容量过大的问题、数据稀疏问题等等。

为解决数组容量过大的问题,可以对数组进行划分后再分片存储<sup>[17]</sup>。为解决数组的稀疏问题,可以采用基于数据立方体计算的多路数组聚集技术<sup>[18]</sup>,它将数组分成块,块是一种将  $n$  维数组划分成小的  $n$  维块的方法,其中,每个块作为一个对象存放在磁盘上,块被压缩,以避免空数组单元(即不含任何有效数据的单元)所导致的空间浪费。对于压缩的稀疏

数组结构,可以用块的 ID 加上偏移量作为在块内查找单元的寻址机制。

## 4. ROLAP 和 MOLAP 的结合

本文在第2部分介绍了 OLAP 概念和分类,第3部分讨论了提高 OLAP 系统性能的各种方法。总的来说 MOLAP, ROLAP 各自存在不同的优缺点:

ROLAP 以关系型数据库为基础,基于关系进行数据的物理存储,并一般使用星型模式或者雪花模式对数据进行组织,这种方式的优点是:

- 1)没有数据量大小的限制。数据存储的关系表中,数据的增加和修改都很方便。
- 2)适合高维情况。对于星型结构中的维的数目没有什么限制。
- 3)对维内部的层次关系没有特殊限制。
- 4)使用经过理论和实践证明的关系代数来实现各种数据库操作,具有很高的可靠性。
- 5)现有的关系数据库的技术可以沿用。

总之 ROLAP 具有很大的灵活性并且适用范围很广,但是由于 ROLAP 使用关系表存储多维数据,最大缺点是没有针对新数据和应用的特点进行存取优化,性能相对较差。

MOLAP 通常基于多维数据模式,使用多维数组作为其物理存储结构,并在此基础上进行各种 OLAP 操作和 OLAP 查询处理。这种方式的优点是:

- 1)专为 OLAP 设计,基于多维存储结构很容易进行多维数据的切割操作。
- 2)多维数据以多维数组的形式进行存储,能够对各种多维数据操作进行存取优化。
- 3)各种 OLAP 操作都具有较高的效率,性能好,速度快。用户提交的各种 OLAP 操作和 OLAP 查询,都可以方便地转化为在多维数据集上的各种多维操作,并能够高效地实现。
- 4)支持高性能的决策支持计算包括,复杂的跨维计算、多用户的读写操作、行级的计算等。

MOLAP 方式的主要优点是进行了 OLAP 的优化,具有良好的性能。但也有缺点,例如:数据维数的增多导致空间膨胀,如何存储;操作有限,不够灵活,特别是用户无法使用属性的 SQL 语句对数据进行检索;以及如何存储内部的层次信息等等。

综合 ROLAP 方式和 MOLAP 方式各自具有的特点,从联机分析系统作为一个整体来考虑,可以将 ROLAP 技术和 MOLAP 技术结合起来构成完整的数据仓库和联机分析处理解决方案。因此,我们可以采用关系数据库存储 OLAP 数据,同时采用多维服务器引擎处理 OLAP 数据,如图1所示。

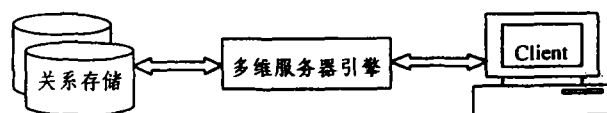


图1 查询解决方案

采用关系数据库存储数据时,由于 OLAP 查询通常会涉及到大量的历史数据,而又要求较快的响应速度,因此考虑预先生成部分的汇总数据,即采用实物化视图技术,还需要结合位图索引技术以及查询处理与查询优化技术,但是即使是否活动的 OLAP 数据存储于关系数据库中,采用在关系数据库

上完成复杂的多维计算也不是较好的选择。因为 SQL 的语句并不具备完成多维计算的能力,要获得哪怕是最普通的多维计算功能也需要多重 SQL。在许多情况下,一些 OLAP 工具用 SQL 做一些计算,然后将计算结果作为多维引擎输入。多维引擎在客户机或中层服务器上做大部分的计算工作,这样就可以利用 RAM 来存储数据,提高响应速度。大部分 OLAP 应用的多维服务引擎上完成多维计算,并且具有良好的性能。因为这种方式可以同时优化引擎和数据库,而服务器上充分的内存为有效地计算大量数组提供了保证,所以对于 OLAP 的计算建议采用多维数据模型,使用 MOLAP 算法来计算。由于用关系数据库存储,因此采取的策略<sup>[19]</sup>是,将多维数据存储在关系表中,在需要进行 OLAP 操作时载入多维数组,使用 MOLAP 算法进行 cube 或者聚集计算,然后在将多维数组中的数据存回关系表。

因为 OLAP 数据经常比较稀疏,并且非稀疏值经常成堆出现(sparse but clustered data),选择合适的多维数据模型表示多维数据也十分重要,目前主要有两种方式:超立方体(Hypercube)和多立方体(Multicube)。文<sup>[19]</sup>提出的一种多维数据模型,采用了 hypercube,提供了多个多维数据运算的操作符,并列出了如何将操作符转译成 SQL 语句。由于多维数据的稀疏性,可以引入多维数据压缩技术和良好的索引技术,还有查询优化技术,以提高查询速度。

**结论** 综上所述,无论 ROLAP 还是 MOLAP,都能够实现联机分析处理的基本功能,两者在查询效率、存储空间和扩展性方面各有特点。在选择 OLAP 系统时,如果采用 MOLAP 和 ROLAP 相结合的技术,能够显著提高系统的总体性能,并且适用范围更广。当然在实际实现方案时,还有许多问题需要进行更深入的研究。本文从 ROLAP 和 MOLAP 两个方面,研究能够提高 OLAP 系统性能的方法,并且探讨了结合 ROLAP 和 MOLAP 两种方法的可能性。最后,给出了一个 OLAP 查询处理的解决方案。

#### 参考文献

- Codd E F, Codd S B, Salley C T. Providing OLAP(on-line analytical processing) to user-analysts; An IT mandate; [Technical report], 1993
- O'Neil P, Graefe G. Multi-Table Joins Through Bitmapped Join Indices. SIGMOD Record, 1995
- Kotidis Y, Roussopoulos N. An Alternative Storage Organization for ROLAP Aggregate Views Based on Cubetrees. In: Proc. ACM SIGMOD '98
- Berchtold S, Keim D A. High-Dimensional Index Structures Database Support for Next Decade's Applications. ACM SIGMOD Record, 1998
- Gupta H, Harinarayan V, Rajaraman A. Index Selection for OLAP. In: Proc. of the Intl. Conf. on Data Engineering, Binghamton, UK, 1997
- Gupta, Mumick I S. Maintenance of Materialized Views: Problems, Techniques, and Applications. IEEE Data Engineering Bulletin, 1995
- Zhuge Y, Garcia-Molina H, Hammer J, Widom J. View Maintenance in a Warehousing Environment. In: Proc. ACM SIGMOD '95
- Zhuge Y, Garcia-Molina H. Graph Structured Views and Their Incremental Maintenance. In: Proc. ICDE '98
- Huyn N. Multiple-View Self-Maintenance in Data Warehousing Environments. In: Proc. of 23<sup>rd</sup> Intl. Conf. on Very Large Data Bases, 1997
- Quass D, Gupta A, Mumick I S, Widom J. Making Views Self-Maintainable for Data Warehousing. In: Proc. Fourth Intl. Conf. on Parallel and Distributed Information Systems (PDIS '96), Dec. 1996
- Labio W J, Garcia-Molina H. Efficient Snapshot Differential Algorithms for Data Warehousing. In: Proc. VLDB '96
- Chaudhuri S, Shim K. Including Group-By in Query Optimization. In: Proc. of the 20<sup>th</sup> Intl. Conf. on Very Large Data Bases, 1994
- Yan W P, Larson P. Eager Aggregation and Lazy Aggregation. In: Proc. of the 20<sup>th</sup> Intl. Conf. on Very Large Data Bases, 1995
- Shatdal J, Naughton F. Adaptive Parallel Aggregation Algorithms. ACM SIGMOD Record, 1995
- 蒋旭东, 周立柱. 数据仓库查询处理中的一种多表连接算法. 软件学报, 2001
- Hellerstein J M, Haas P J, Wang H J. Online Aggregation. ACM SIGMOD Record, 1997
- Sarawagi S, Stonebraker M. Efficient Organization of Large Multidimensional Array. In: Proc. of the Tenth Intl. conf. on Data Engineering, 1994
- Zhao Y, Deshpande P M, Naughton J F. An Array-Based Algorithm for Simultaneous Multidimensional Aggregates. Proc. ACM SIGMOD '97
- Agrawal R, Gupta A, Sarawagi S. Modeling Multidimensional Databases: [Research Report]. IBM Almaden Research Center, San Jose, California, 1995. Appeared in Proc. ICDE '97
- Acharya S, Gibbons P B, Poosala V, Ramaswamy S. Join Synopses for Approximate Query Answering. SIGMOD'1999
- Yitter J S, Wang M. Approximate Computation of Multidimensional Aggregates of Sparse Data Using Wavelets. SIGMOD'1999
- What is OLAP. OLAP Report. : <http://www.olapreport.com/about.htm> 2000. 3

