

# Web 数据仓库的异步迭代查询处理方法\*

何震瀛<sup>1</sup>, 李建中<sup>1,2</sup>, 高宏<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>(哈尔滨工业大学 计算机科学与技术学院,黑龙江 哈尔滨 150001);

<sup>2</sup>(黑龙江大学 计算机科学技术学院,黑龙江 哈尔滨 150080)

E-mail: lijz@banner.hl.cninfo.net

http://www.hit.edu.cn; http://www.hljju.edu.cn

**摘要:** 数据仓库信息量的飞速膨胀对数据仓库提出了巨大挑战.如何提高 Web 环境下数据仓库的查询效率成为数据仓库研究领域重要的研究问题.对 Web 数据仓库的体系结构和查询方法进行了研究和探讨.在分析几种 Web 数据仓库实现方法的基础上,提出了一种 Web 数据仓库的层次体系结构,并在此基础上提出了 Web 数据仓库的异步迭代查询方法.该方法充分利用了流水线并行技术,在 Web 数据仓库的查询处理过程中不同层次的结点以流水线方式运行,并行完成查询的处理,提高了查询效率.理论分析表明,该方法可以有效地提高 Web 数据仓库的查询效率.

**关键词:** 异步迭代方法;Web 数据仓库;数据仓库

中图法分类号: TP311 文献标识码: A

Internet 的广泛应用使传统的商务模式发生了巨大转变,带宽的不断增长使企业通过网络开展业务成为可能.随着企业规模的扩大,业务不断向多个地区扩展,以及企业兼并或小企业联合组成大集团等,许多企业的运作模式自然形成一种分布式管理结构.对于这些跨地域的大型、超大型企业来说,每天都要产生大量的数据,如何从这些分布在世界各地的数据中提取对企业决策分析有用的信息,成为企业决策管理人员所关心的一个重要问题.如何有效地组织和管理这些分布于世界各地的数据,提高获得决策者需要的统计信息的效率也就成为数据仓库领域的一个十分重要的研究问题.

目前,大部分企业建立和支持中央集成的数据仓库环境.随着网络应用的飞速发展,传统的、中央集成的数据仓库体系结构已无法满足应用的需要,传统的数据仓库技术很难管理这些物理上分布、逻辑上相关的数据仓库,面临着两方面的挑战:

(1) 数据物理分布带来的问题.由于数据在物理上的分布特性,在对数据仓库存储的数据进行联机分析处理时,需要在多个结点之间交换数据.如何使广域网环境下的数据传输对整个数据仓库联机分析处理效率的影响最小,成为数据仓库研究者面临的一个挑战:

(2) 异构数据带来的问题.由于历史、地理、经济等诸多原因,各个站点的数据仓库在组织、管理数据时所采用的技术可能不同.各个局部的数据按照不同的方式进行组织和管理.如何对这些信息进行联机分析处理,是数据仓库研究者面临的另一个挑战.

当前,数据库研究者更多关注如何更好的组织、管理分布于单一地域的海量数据<sup>[1~4]</sup>;还有些数据库研究者针对 Web 上数据操作的问题进行了卓有成效的研究.文献[5~7]在数据仓库查询处理中采用了预处理技术,但这些研究都未考虑网络数据传输和异构信息源所带来的问题.文献[8,9]对一些分布式体系结构的查询处理中查

\* 收稿日期: 2001-04-20; 修改日期: 2001-11-30

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(69873014);国家重点基础研究发展规划 973 资助项目(G1999032704)

作者简介: 何震瀛(1977 - ),男,黑龙江牡丹江人,博士生,主要研究领域为 Web 数据库,数据仓库;李建中(1950 - ),男,黑龙江哈尔滨人,教授,博士生导师,主要研究领域为并行计算,数据库;高宏(1966 - ),女,河北故城人,博士生,副教授,主要研究领域为数据库,数据仓库.

询重写、分发等问题进行了研究,但对数据传输和处理方法考虑很少.在异构信息源集成的研究方面,Wrapper/Mediator 体系结构是目前人们解决这一问题的有效手段<sup>[10-12]</sup>.

由于目前数据仓库的研究结果不能很好适应 Web 环境下快速进行联机分析处理的需要,我们需要研究新的体系结构和查询方法,在确保对异构数据有效集成的前提下,提高联机分析处理的效率.本文提出了一种数据仓库的异步迭代查询方法.这种方法既适于异构数据的查询又具有较高的查询性能,能够有效地支持 Web 数据仓库的联机分析处理.本文的研究工作主要集中在以下 3 方面:

- (1) Web 数据仓库的体系结构;
- (2) Web 数据仓库的异步迭代查询方法;
- (3) Web 数据仓库的异步迭代查询方法的代价分析.

本文第 1 节讨论 Web 数据仓库的体系结构.第 2 节介绍 Web 数据仓库的异步迭代查询方法及其查询代价分析.

### 1 Web 数据仓库的体系结构

进行 Web 数据仓库研究的目的是使数据仓库技术更好的适应 Web 应用环境需要,以加快 Web 数据统计分析的速度.目前,多数跨地域企业的组织结构是类似于图 1 的树形结构.相应地,一个企业的 Web 数据仓库也具有如图 2 所示的树形结构,在树的每个结点具有一个信息集合和查询处理部件.在解决这一问题时,我们可以考虑两种不同的方法:

(1) 采用一种中央集成的体系结构,即树中的每一个结点都建立了一个基于其所有子结点数据的数据仓库.这种体系结构的好处在于,它可以获得较高的查询处理效率,同时也带来了极大的软硬件开销.首先,局部站点(子结点)的数据在它的上一级站点(父结点)上都有副本,而且为了满足局部自治的要求,子结点的数据在它所有的祖先结点上也都要有副本,产生了极大的数据冗余;其次,为保证统计分析的可靠性,数据必须传送到它的父结点上,这不仅使网络负载加大,同时也使得数据的更新代价大大地增加;再次,由于异构等原因,数据在实时传输时还要进行数据格式等的转换,软件开销也不可估量.

(2) 根据跨地域企业的组织结构,采用一种层次体系结构.上级结点不保存其所有子结点的全部数据,其数据仓库的统计信息定时更新,用户的分析操作实时在分布于各个地域的数据仓库上进行.这种体系结构与传统的中央集成体系结构的数据仓库技术相比,有以下优点: 总体代价低.存储开销和网络负载大大降低,同时也降低了对硬件设备性能的要求. 开发周期短.短时间内,局部数据仓库就可以建立、运行并使局部组织受益.

灵活性大.局部决策者能方便实现对局部数据仓库的控制与决策. 软件开发费用低.局部站点可以使用原有的数据仓库,而不必重新开发与全局相同的数据仓库,而且可以保证自己特定业务的需要.



Fig.1  
图 1



Fig.2  
图 2

在具有很多优点的同时,分布式的体系结构也存在着一些缺点.比如说,与集中式数据仓库相比,Web 数据仓库更为复杂.由于数据的分布,统计查询时必须在多个 Web 站点上进行,数据的定位、格式转换与传输,增加了统计查询的开销.为协调各结点正确处理用户查询,它必须完成很多额外工作.

我们主要考虑在发挥分布式体系结构优势的同时,降低由体系结构带来的不利因素的影响.在图 2 中,总公司的数据仓库中存储的是最粗粒度的信息;北京分公司、黑龙江分公司存储的是细一些粒度的统计信息;而昌平、大兴等分公司存储的是更细粒度的信息.基于数据网络传输和格式转换的代价考虑,对总公司或分公司所

存储的信息采用定时更新的策略(比如说半个月).查询时,如果需要的信息在本地不存在,则需要对本地不存在的信息实时进行统计.为加速 OLAP 分析的效率,在总公司和分公司的数据仓库中定义一些实体化的 View,这些局部的实体化 View 的更新操作随本地数据的定时更新而更新.

下边,我们针对 Web 数据仓库的这种特点,定义 Web 数据仓库的体系结构.

定义 1. Web 结点是一个数据仓库和一个查询处理部件.查询处理部件可完成对数据仓库、数据库以及半结构化数据的查询.Web 结点的查询处理部件包括:查询分析重构部件、查询请求缓冲区、查询结果缓冲区、查询结果异步处理部件、查询结果合并处理部件.

定义 2. 设  $F$  和  $S$  是 Web 结点.如果结点  $F$  上的查询结果要根据  $S$  上的查询结果来产生,则称  $F$  和结点  $S$  之间存在着父子联系,记做序对  $\langle F, S \rangle$ ,  $F$  称为父亲,  $S$  称为儿子.如果父亲和儿子是异构数据源,则在它们之间有一个 Wrapper 进行查询和返回结果的转换.

定义 3. Web 数据仓库的层次模式是由一组 Web 结点和父子联系构成的一棵有向树  $T=(V, E)$ , 其中  $V$  和  $E$  定义如下:

- (1)  $V$  是 Web 结点的集合;
- (2) 如果  $(v_1, v_2) \in E$ , 当且仅当  $(v_1, v_2)$  是一个父子联系.

我们把表示 Web 数据仓库层次模式的有向树称做 DWH-Tree.与树的概念类似,可以很容易地定义出 DWH-Tree 中的若干概念,如根、叶子、层、结点的度等.Web 数据仓库可以表示成 DWH-Tree.

## 2 异步迭代方法及其查询代价分析

对 Web 数据仓库进行 OLAP 分析时,若需要的信息在本地实体化 View 中不存在,则要对 View 中不存在的信息进行统计,并与实体化 View 中存在的那部分信息进行合并,再将合并后的结果返回给用户.

定义 4. 若父结点上查询  $Q$  的结果要根据子结点上查询  $Q_1$  的结果来产生,将父结点查询  $Q$  改写成子结点查询  $Q_1$  的过程叫做查询重构.父结点在把查询下发到子结点之前要先进行查询重构,然后下发,查询重构的主要目的是把父结点上的查询变换为提取子结点上相关信息的等价查询.相应地,父结点将其子结点返回的若干结果集合合并为一个结果集合的过程称为结果集合并.

同步查询方法的主要想法是基于操作的串行性:下层 Web 结点只有在获得全部查询结果集后,才将结果集统一提交给上层结点.它存在以下两个问题:

- (1).父结点将查询发到子结点后,父结点将处于一种 idle 状态,如何降低父亲结点的 idle 时间;
- (2).如何降低子结点数据集合返回的时间开销.

异步迭代查询方法(简称 ASYNI 方法)的主要想法是实现操作间的流水并行.下层 Web 结点查询所得的结果集合无需做完合并操作再统一提交,而是将已合并完的数据分块提交给上层结点.其描述如下:

算法.

输入:查询请求  $Q$ , 查询来源  $S // S=1$  用户查询;  $S=0$  父结点查询

输出:查询结果关系  $R$

当 DWH-Tree 中某一结点收到统计查询请求后,判断该结点是否是叶子结点,若是叶子结点,在本结点执行  $Q$  然后 ; 若该结点是非叶结点,则 ;

若查询  $Q$  可否在本地结点的实体化 View 中获得,则在本地的实体化 View 中执行  $Q$ ; 否则 ;

将  $Q$  重构为子结点统计查询  $Q_1$ , 设置子结点查询来源  $S=0$ , 在子结点上递归调用 ASYNI 方法;

若  $S=0$ , 将查询  $Q$  所得到的若干结果集合并的结果分块返回父结点; 若  $S=1$ , 将查询  $Q$  所得到的若干结果集合并的结果分块返回给用户.

影响 Web 数据仓库统计查询代价的因素主要有:(1) 传送数据的大小:传送数据的大小严重影响数据传输时间,进而影响整个 OLAP 分析的效率;(2) 异构信息源间数据转换的开销;(3) Web 站点性能:Web 站点的计算速度、I/O 速度、磁盘速度等.为方便分析,这里忽略后两个因素对查询代价的影响.

在 ASYNI 方法中,由于在结果集合并的同时将结果集合并的结果传送到上一层结点,所以,叶结点的查询

代价可以记为  $Cost(Q)=T_{convert}(Q)+T_{cpu}(Q)$ . 其中,  $T_{convert}(Q)$  为查询  $Q$  的分析、重构时间,  $T_{cpu}(Q)$  为重构之后的查询在本地数据仓库中查询执行的时间. 而非叶结点的查询代价可以定义为其所有儿子的代价和该结点本地数据仓库查询代价的最大值, 再加上结果集合并的时间以及网络传输的时间, 即

$Cost(Q)=\max(\max(\Psi_{i=1}^n(T'_{trans_i}+Cost(Q_i)), T_{cpu})+T'_{merge}(R_1, R_2, \dots, R_n)+C$ . 其中  $T'_{trans_i}(i=1, 2, \dots, n)$  为该结点的第  $i$  个儿子结果集的一个数据块传输到该结点的代价, 而  $Cost(Q_i)(i=1, 2, \dots, n)$  为第  $i$  个儿子的代价, 而操作  $\Psi_{i=1}^n(T'_{trans_i}+Cost(Q_i))$  表示  $T'_{trans_1}+Cost(Q_1), T'_{trans_2}+Cost(Q_2), \dots, T'_{trans_n}+Cost(Q_n)$ ,  $T'_{merge}(R_1, R_2, \dots, R_n)$  的含义是  $n$  个结果集合并出第 1 个要传送到上一层结点的数据块的时间. 为记录和推导的方便起见: 我们把  $T'_{merge}(R_1, R_2, \dots, R_n)$  简写成  $T'_{merge}$ , 由于结果集合并出的数据块的大小是固定的, 实际上  $T'_{merge}$  可以看做是一个常量  $C_1$ . 如果将网络数据传输的代价放到子结点的代价中, 那么在 DWH-Tree 中, 查询的代价都集中到了结点上. Web 应用环境下往往是  $\Psi_{i=1}^n(T'_{trans_i}+Cost(Q_i)) \gg T_{cpu}$ , 因此查询代价可以写成

$$Cost_{syn}(Q)=\max(\Psi_{i=1}^n(T'_{trans_i}+Cost(Q_i))+C_1+C.$$

在异步迭代查询方法中, 由于数据合并操作和数据网络传输异步进行, 使得异步迭代方法产生了一种流水的效果, 从而降低了 Web 结点将数据发送到下一级结点后的空闲时间, 使聚集查询处理在 Web 结点间并行起来, 提高了统计查询的效率.

由于异步迭代方法与同步查询统计方法的不同之处在于对数据传输和合并处理上, 故可以通过类似的方法推导出使用同步查询统计方法的代价为

$$Cost_{syn}(Q)=\max(\Psi_{i=1}^n T'_{trans_i}+Cost(Q_i))+C_1+C,$$

其中  $T'_{trans_i}(i=1, 2, \dots, n)$  表示当前 Web 结点的第  $i$  个子结点的结果集传输到该结点的时间开销,  $Cost(Q_i)(i=1, 2, \dots, n)$  表示查询在当前结点的第  $i$  个子结点上执行的时间开销,  $T'_{merge}$  是该结点的  $n$  个结果集进行合并操作的总的时间, 而操作  $\Psi_{i=1}^n(T'_{trans_i}+Cost(Q_i))$  表示

$$T'_{trans_1}+Cost(Q_1), T'_{trans_2}+Cost(Q_2), \dots, T'_{trans_n}+Cost(Q_n).$$

现假定每个子结点向父结点传送的结果集大致相同, 理论上能得出: 在三层结构的 Web 数据仓库中, 若子结点的统计查询结果分 3 块提交给父结点, 则  $Cost_{syn}(Q) \approx 1.7 Cost_{syn}(Q)$ , 即异步迭代方法的查询代价大约是同步方法代价的 1.7 倍; 当子结点的查询结果分成 10 块提交给父结点时,  $Cost_{syn}(Q) \approx 8 Cost_{syn}(Q)$ , 即异步迭代方法的查询代价是同步方法的 8 倍.

### 3 结 论

Web 数据仓库是数据仓库研究领域的一个重要问题. 本文根据应用给出 Web 数据仓库的层次结构, 并在该结构基础上提出了异步迭代查询方法. 理论分析表明, 异步迭代方法能有效提高查询效率.

#### References:

- [1] Geffner, S., Agrawal, D., Abadi, A.E. The dynamic data cube. In: Zaniolo, C., Lockemann, P.C., Scholl, M.H., *et al.*, eds. Proceedings of the 7th International Conference on Extending Database Technology. Konstanz: Springer-Verlag, 2000. 237~253.
- [2] Li, Jian-zhong, Rotem, D., Srivastava, J. Aggregation algorithms for very large compressed data warehouses. In: Atkinson, M.P., Orłowska, M.E., Valduriez, P., *et al.*, eds. Proceedings of the 25th International Conference on the Very Large Data Bases. Edinburgh: Morgan Kaufmann Publishers, Inc., 1999. 662~673.
- [3] Chan, C.Y., Ioannidis, Y.E. Hierarchical cubes for range-sum queries. In: Atkinson, M.P., Orłowska, M.E., Valduriez, P., *et al.*, eds. Proceedings of the 25th International Conference on the Very Large Data Bases. Edinburgh: Morgan Kaufmann Publishers, Inc., 1999. 675~686.
- [4] Lee, S.Y., Ling, T.W., Li, Hua-gang. Hierarchical compact cube for range-max queries. In: Abadi, A.E., Brodie, M.L., Chakravarthy, S., *et al.*, eds. Proceedings of the 26th International Conference on the Very Large Data Bases. Cairo: Morgan Kaufmann Publishers, Inc., 2000. 232~241.

- [5] Labrinidis, A. Roussopoulos, N. WebView materialization. In: Chen, Wei-dong, Naughton, J.F., Bernstein, P.A., eds. Proceedings of the ACM SIGMOD 2000. Dallas: ACM Press, 2000. 367~378.
- [6] Mistry, H., Roy, P., Sudarshan, S., *et al.* Materialized view selection and maintenance using multi-query optimization. In: Aref, W. G. ed. Proceedings of the ACM SIGMOD 2001. Santa Barbara, CA: ACM Press, 2001. 307~318.
- [7] Shukla, A., Deshpande, P., Naughton, J.F. Materialized view selection for multidimensional datasets. In: Gupta, A., Shmueli, O., Widom, J., eds. Proceedings of the 24th International Conference on the Very Large Data Bases. New York: Morgan Kaufmann Publishers, Inc., 1998. 488~499.
- [8] Gupta, N., Haritsa, J.R., Ramanath, M. Distributed query processing on the web. <http://dsl.serc.iisc.ernet.in/pub/TR/TR-9901.ps>.
- [9] Papakonstantinou, Y., Vassalos, V. Query rewriting for semistructured data. In: Delis, A., Faloutsos, C., Ghandeharizadeh, S., eds. Proceedings of the ACM SIGMOD'99. Philadelphia, Pennsylvania: ACM Press, 1999. 455~466.
- [10] Roth, M.T., Schwarz, R. Don't scrap it, wrap it! A wrapper architecture for legacy data sources. In: Jarke, M., Carey, M.J., Dittrich, K.R., *et al.*, eds. Proceedings of the 23rd International Conference on the Very Large Data Bases. Athens: Morgan Kaufmann Publishers, Inc., 1997. 266~275.
- [11] Laura M., Kossmann, H.D., Wimmers, E.L., *et al.* Optimizing queries across diverse data sources. In: Jarke, M., Carey, M.J., Dittrich, K.R., *et al.*, eds. Proceedings of the 23rd International Conference on the Very Large Data Bases. Athens: Morgan Kaufmann Publishers, Inc., 1997. 276~285.
- [12] Bouganim, L., Chan-Sine-Ying, T., Dang-Ngoc, Tuyet-Tram, *et al.* MIROWeb: integrating multiple data sources through semistructured data types. In: Atkinson, M.P., Orłowska, M.E., Valduriez, P., *et al.*, eds. Proceedings of the 25th International Conference on the Very Large Data Bases. Edinburgh: Morgan Kaufmann Publishers, Inc., 1999. 750~753.

## An Asynchronous Iteration Approach for Processing on Web Data Warehouse\*

HE Zhen-ying<sup>1</sup>, LI Jian-zhong<sup>1,2</sup>, GAO Hong<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>(School of Computer Science and Technology, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China);

<sup>2</sup>(School of Computer Science and Technology, Heilongjiang University, Harbin 150080, China)

E-mail: lijz@banner.hl.cninfo.net

<http://www.hit.edu.cn>; <http://www.hlju.edu.cn>

**Abstract:** The exploding of information in data warehouses makes a great challenge to data warehouse research. How to increase query efficiency across web data warehouse plays an important role in data warehouse research. After analysis of several data warehouse implementation, a kind of hierarchy architecture of the web data warehouses is proposed, and an asynchronous iteration approach for query processing on web data warehouses is presented based on the hierarchy architecture of web data warehouse. In the asynchronous iteration approach, the pipelining parallel processing technique is exploited. During the processing of the queries on web data warehouses, all the nodes in difference layers of web data warehouse are executed in pipelining parallel manner so that the performance of the query processing is tremendously improved. The theoretical analysis shows that the asynchronous iteration approach is very efficiently for the query processing on web data warehouses.

**Key words:** asynchronous iteration approach; web data warehouse; data warehouse

---

\* Received April 20, 2001; accepted November 30, 2001

Supported by the National Natural Science Foundation of China under Grant No.69873014; the National Grand Fundamental Research 973 Program of China under Grant No.G1999032704