

基于 Chord 覆盖网络索引结构的多属性查询

刘金岭

(淮阴工学院 计算机工程学院, 江苏 淮安 223003)

摘 要: 文中给出了一种基于 Chord 覆盖网络索引结构的多属性查询处理技术. 利用卡诺图计算查询结果所在的节点, 并以多播树的方式将查询请求发送到对应的节点上, 从而实现了相邻数据之间的快速路由. 实验证明了该方法在处理多属性查询时的有效性和高效性.

关键词: Chord; 覆盖网络; 多属性查询; 多播树

中图分类号: TP311

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2011)03-0103-05

An Index Structure Based on Chord Overlay Network of Multi-attribute Query

LIU Jin-ling

(Computer Engineering Faculty, Huaiyin Institute of Technology, Huaian 223003, China)

Abstract: An index structure based on Chord overlay network of multi-attribute query processing technology, which is calculated using K-map where the nodes in query results, and to the way multicast tree queries sent to the corresponding node, and thus achieve fast routing between adjacent data. Experiment proved that the method in dealing with multi-attribute query the effectiveness and efficiency.

Key words: Chord; overlay network; multi-attribute query; multicast tree

1 引言

近年来,越来越多的用户通过大规模分布式系统共享或存取数据,这些数据经常被标示为多属性的,而许多现有的分布式系统不能有效地支持多属性或多维数据查询. 文献[1]从降低查询更新代价出发,构造了一个虚拟的基于空间划分的层次树,保证了相关查询区域的探索尽量发生在同层节点之间,减轻了上层节点的查询负担,避免了树根结点的瓶颈问题. MAAN^[2] 和 Mercury^[3] 仅对单属性索引技术进行简单的复用,虽然能处理 2、3 个属性的查询,但效率低. 文中在 Chord 结构上建立树型结构覆盖网络^[4-5],这是因为 Chord 系统的数据索引分布策略可以使得系统中的数据负载均衡化,它的协议简单、路由效率高、维护代价低^[5],其路由代价为 $O(\log N)$ 跳步(hop),数据更新所需的消息数为 O

$(\log N)$. 覆盖网络协议制定了系统中邻居节点填入路由表的规范,Chord 覆盖网络系统将 Chord 系统中相互独立的节点管理和数据管理紧密地结合起来,它结合了基于格雷码重新编排生成了数据索引键值,实现节点管理和数据管理的无缝结合.

2 多属性数据的索引

多属性数据索引主要解决两个问题:一是如何根据各个属性值的编码获得元组的编码,二是如何将元组根据其编码发布到各节点上. 具体步骤如下:

- (1) 每个节点以一个相同长度的二进制串作为节点标识(文中取 128 位);
- (2) 每个节点维护一张路由表,其中每个表项指向一个与当前节点标识有一位差别的标识所对应的节点.
- (3) 所有的节点按照标识排序,序列中头尾相

收稿日期: 2010-03-10; 修回日期: 2010-05-06

基金项目: 淮安市科技计划项目(HAG09061);淮阴工学院重点基金项目(HGA0907)

连,构成一个环,每个节点维护指向其前、后节点的指针.

2.1 多属性数据查询概述

例 1 图书信息如表 1 所示.

表 1 图书信息表

书名	出版社	作者	定价	页数	出版年份
分布式数据库系统及其应用	科学	邵佩英	38	394	2005
分布式数据库	科学	郑振楣	12	196	1998
数据库原理与技术	电子工业	刘方鑫	22	332	2002
数据库系统教程	高等教育	施伯乐	18	420	2003
数据库原理及应用	清华大学	刘金岭	27	299	2009
数据库试验与课程设计指导	清华大学	刘金岭	21	226	2010

多属性查询问题如下:

查询问题 1:查找书名为“数据库原理及应用”,定价在 20 到 30 之间,页数少于 250 的记录.

查询问题 2:查找在 2009 年以后出版的,由刘金岭主编的清华大学出版社出版的图书“数据库试验与课程设计指导”.

在分布式数据库的多属性查询中,由于各查询语句中包含不同的限制条件、不同的属性和不同的属性个数,构造一个好的查询处理方法,应该具有如下性质:

(1) 能够在各种查询条件下都具有较小的查询处理延时和查询处理代价^[6];

(2) 当数据库内容改变或者节点加入、退出时,Chord 覆盖网络中的消息数、消息跳步数以及被访问的节点数均较小.

2.2 多属性数据索引编码

多属性数据索引基本思想是根据结点属性和数据对象属性(如数据对象名)得到唯一的结点标识符和数据对象键值,然后将结点组织成具有一定结构的逻辑覆盖网络,并根据键值将数据对象索引分散到各个结点上,使每个结点负责某个数据对象属性的全局索引^[7].

文中讨论的是基于 Chord 协议下的覆盖网络的多属性数据索引,步骤如下:

第一步:对每个属性值进行编码. 对于数值型数据,首先将属性的值域均匀的划分为若干段,划分后的段数为 2 的方幂数. 对于已知属性值域为连续范围时,均匀划分段;对属性值域分段时,将各段拼接成连续区域后再均匀分段. 例如某属性值域为[1, 100],当被划分为 4 段时,结果为:{{1,25]}, {(25, 50]}, {(50,75]}, {(75,100]}. 被划分后的段按序编号,并使用格雷码编码. 因为格雷码(如表 2)的特点

是相邻数值的格雷码仅相差一位,可以利用这一性质,将属性值属于同一段的属性上具有相近值的元组映射到同一节点,而将属性值属于相邻段的元组映射到相邻节点上.

表 2 三位自然二进制与格雷码对照表

十进制数	自然二进制数	格雷码
0	000	000
1	001	001
2	010	011
3	011	010
4	100	110
5	101	111
6	110	101
7	111	100

在数据索引时,首先确定元组的属性值所在的段号,然后将该段号转换为格雷码.

算法 1 自然二进制码转化为格雷码的算法.

输入:属性值所在的段号 B

输出:段号的格雷码 G

(1) 将属性值所在的段号转化为二进制数值存储到数组 B[n]

(2) for each i from 1 to n-1 do

(3) if B[i]=B[i-1] then

(4) G[i]=0

(5) else

(6) G[i]=1

(7) end if

(8) end for

(9) return G[n]

对于种属型属性数据,可以对其值 v 进行哈希

(hash)后 $h(v)$ (文中使用 SHA-1 作为哈希函数) 取模的结果, 即 $h(v) \bmod 2^m$. 显然相同属性值的编码相同, 从而能映射到相同的覆盖网络节点上.

第二步: 对多个属性值索引编码. 如果两个元组在某个属性值上有相同的值或比较相近, 反映到该属性编码上应该相同或比较相近, 但是这两个元组可能在其他属性值上差异比较大. 如表 1 中, 刘方鑫主编的《数据库原理与技术》出版年份是 2002, 施伯乐主编的《数据库系统原理》的出版年份是 2003, 这两个属性值是比较接近的, 但这两个元组的其它属性值差别比较大. 由于基于 Chord 协议的覆盖网络路由时总是将数据包先发送至左侧标识位与数据包目标地址相同的节点, 因此如果只是简单地把所有属性值的编码顺序连接起来, 那么排列在左侧的属性总是具有较高的选择率, 而索引对排列在右侧的属性只具有很小的作用^[8]. 所以, 这两个元组的编码会分散到各处, 即在某属性值上相同或相近的元组被分配到的节点并不一定具有相关性.

算法 2 多个属性值索引编码算法.

输入: 元组集属性值格雷码的集合 S

输出: 元组集索引编码集

(1) for each $s(t) \in S$

(2) 混合 $s(t)$ 的所有属性的格雷码;

(3) 将元组的各属性格雷码依次间隔排列构成元组编码;

(4) 依据下列原则进行调整:

(5) 如果两个元组的编码只有一位差别, 则将这两个元组编码排列到同一段或相邻段.

(6) 如果两个元组的编码前缀相同, 假设它们不相同的后缀中对应于同一数值型属性的位数最多为 m , 则它们所对应的元组的数值型属性值最多相差 2^m 个段.

(7) end for

(8) 输出 S 的索引编码集.

算法的第(5)步保证了基于 Chord 协议的覆盖网络上元组属性值的局部性; 第(6)步保证了在种属型属性相同的元组和在各个数值型属性值上都相似的元组被分配给同一个 Chord 覆盖网络节点的可能性较大.

例 2 基于 Chord 协议的覆盖网络的多属性元组索引算法举例.

假设有 6 个元组 $\{s1, s2, s3, s4, s5, s6\}$ 编码如表 3 所示. 通过索引算法 2, 得到索引编码如表 4 所示.

表 3 元组原码表

s1	00	01	00	11	01
s2	00	11	01	01	11
s3	01	11	01	11	01
s4	11	11	11	01	11
s5	11	10	10	11	00
s6	10	11	01	01	11

表 4 索引编码表

s1	00	01	00	10	11
s2	01	00	10	11	11
s3	01	01	01	11	11
s4	11	10	11	11	11
s5	11	11	01	00	10
s6	11	00	10	11	11

基于 Chord 协议的覆盖网络元组原码和索引编码所对应的节点结构如图 1 和图 2 所示.

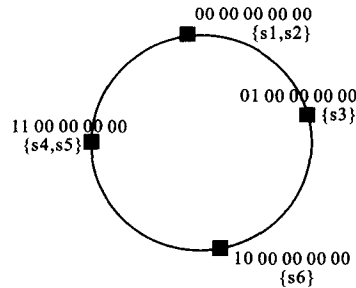


图 1 原码节点结构图

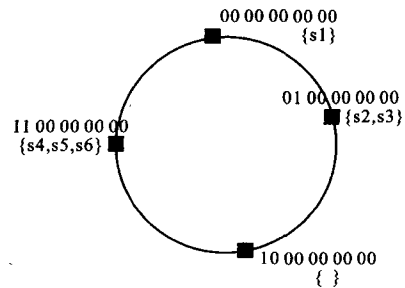


图 2 索引编码节点结构图

3 多属性查询处理

文中对多属性查询处理的思想是: 首先将多属性查找转换成一系列对节点的访问请求, 再将这些需求被访问的节点进一步组织成一棵或多棵多播树. 查询请求沿着多播树传播, 以获取所有需要的数据元组.

3.1 多播树的构造

文中使用卡诺图来构造多播树. 基本思想是: 先对每两个尚未处理过的并在多属性查找中出现的属性构造卡诺图. 如果还剩下一个属性未处理, 则为这个属性单独构造卡诺图; 然后将可能包含查询结果的节点在卡诺图中标注, 并约简卡诺图, 得到子多播树; 最后按照 2.2 节多属性数据索引编码的方法得到子多播树的节点表示.

算法 3 构造和约简卡诺图的算法. 根据两个属性及其查询操作确定多播树.

输入: 查询语句 $\langle \text{attrib1 op condit1} \rangle, \langle \text{attrib2 op condit2} \rangle$

输出: 子多播树节点标识表示

(1) 构造初始卡诺图:

$\text{Karn} = \Phi$, $\text{length}(\text{Karn}) = \text{attrib1 编码长度}$,
 $\text{width}(\text{Karn}) = \text{attrib2 编码长度}$

(2) for each $\text{cell} \in \text{karn}$

(3) if cell 所对应的编码满足 $\langle \text{attrib1 op condit1} \rangle, \langle \text{attrib2 op condit2} \rangle$ 的编码表示 then

(4) $\text{Cellmark} = 1$

(5) else

(6) $\text{Cellmark} = 0$

(7) end if

(8) end for

(9) repeat

(10) 将 Karn 中的每两个相邻、大小相同且 $\text{cellmark} = 1$ 的 $\text{cell1}, \text{cell2}$ 进行合并, 得到一个大小为 2^k , $\text{cellmark} = 1$ 的 cell

(11) until Karn 中没有符合条件的 cell

(12) 为每个 $\text{cellmark} = 1$ 的 cell 产生子多播树节点标识表示.

通过算法 3 得到所有的子多播树节点标识的表示以后, 按 2.2 节的方法就可以得到整个多播树的索引编码.

3.2 多属性查询处理

约简后的卡诺图, 其对应的子多播树节点标识表示为 $x, 0, 1$ 的字符串. 如文献[9]中给出的 7×7 Karn 图对应的子多播树表示为 $\langle x0x, x00 \rangle, \langle x1x, 11x \rangle$ 以及 $\langle x1x, 101 \rangle$.

获得整体多播树的标识后, 就可以进行多属性的数据查询.

算法 4 多属性数据查询.

输入: 多播树的标识

输出: 多属性查询结果

(1) 将多属性查询发送到各个多播树的根节点, 将多播树标识中所有的 x 都替换为“0”所对应的节点;

(2) 当节点收到多属性查询的请求后, 首先在本地查询, 将结果返回给查询节点, 其次节点将多播树标识中的一个 x 替换成“1”, 并向对应的节点发送查询请求;

(3) 循环执行步骤(2), 直至查找到多播树中所有的节点.

4 算法分析及实验分析

4.1 算法分析

基于 Chord 覆盖网络索引系统中, 路由到多播树的根节点的时间延迟为 $O(\log_2 n)$, 其中 n 为网络中节点数目. 假设多播树标识中 x 的个数为 M , 则多播树的层次树即为 M , 所以多播树中路由的时间延迟为 M . 因此, 多属性查找的时间延迟为 $O(\log_2 n + M)$.

4.2 实验分析

为了衡量 Chord 覆盖网络索引结构的多属性查询算法(简记 Ch_Ov_Net)的性能, 文中用 Java SDK 1.42 实现一个网络模拟器. 节点由 32 位的二进制字符串(id)唯一标识, 维护了两个有限长度的消息队列: 一个用于发送消息, 另一个用于接收消息. 实验中网络节点数为 10000 个, 模拟数据共有 5 个数值型属性和 1 个种属型属性, 各属性值均匀分布, 数据集共有 100000 个元组.

图 3、图 4、图 5 是 Ch_Ov_Net 查询算法与 Mercury 的性能比较. 由于 Mercury 需要在多个(虚拟)Chord 中进行查询, 因而消息的跳步数和访问的节点数远高于 Ch_Ov_Net . 同时, 由于在 Mercury 中, 每个节点为每个属性都维护了一个 Ch_Ov_Net 覆盖网络, 因此能够快速定位维护了在某个属性上相邻值的节点, 所以 Mercury 在查询中属性较少时

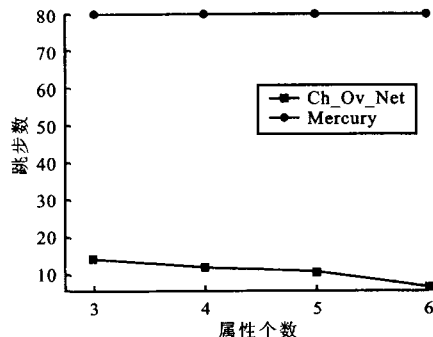


图 3 跳步数比较

只需要使用较少的消息数。但是,当查询中属性较多时,Ch_Ov_Net 的“一位差异”编码与索引技术能够更有效地利用覆盖网络链接,具有较少的消息数。

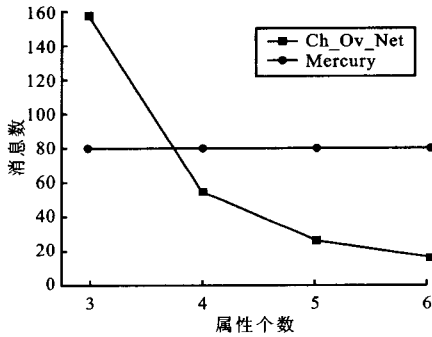


图4 消息数比较

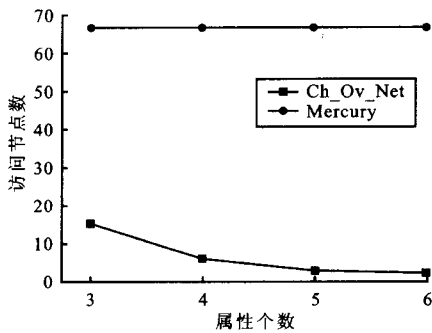


图5 访问节点数比较

5 结束语

文中介绍了一种基于 Chord 覆盖网络索引结构的多属性查询处理技术,由于系统实现了节点管理层和数据管理层之间的无缝结合,进而实现了相邻数据之间的快速路由,由此系统只需要对数据索引一次,即可提供对多属性进行查询多次,因此,系统的索引维护开销低。和现有利用覆盖网络的其它

多属性查询处理技术相比,该方法占用更少的带宽、访问更少的节点,并能获得更少的查询延迟。

参考文献:

- [1] 刘金岭. 基于 P2P 网络的 AVL 索引树范围查询研究[J]. 微电子学与计算机, 2011(2): 11-14.
- [2] Cai M, Frank M R, Chen J, et al. MAAN: A multi-tribute addressable network for grid information services [C]// Proceedings of the GRID 2003. Phoenix, Arizona, USA: IEEE, 2003: 184-191.
- [3] Bharambe A R, Agrawal M, Seshan S. Mercury: supporting scalable multi-attribute range queries [C]// Proceedings of the SIGCOMM 2004, Portland, OR, USA: Gite SeerX, 2004: 353-366.
- [4] Jagadish H V, Ooi B C, Vu Q H. BATON: A balanced tree structure for peer-to-peer networks [C]// Proceedings of the VLDB 2005. Trondheim, Norway: Gite SeerX, 2005: 661-672.
- [5] 张谢华. 对等网络 Chord 搜索路由算法的改进[J]. 微电子学与计算机, 2009, 26(12): 146-148.
- [6] 陈保平, 焦小炜. 基于 P2P 分布式多维平衡树的数据索引结构的复杂查询[J]. 河北省科学院学报, 2008, 25(3): 14-19.
- [7] 傅向华, 王志强, 明仲, 等. 主题覆盖网络的构造与搜索算法研究[J]. 计算机科学, 2007, 34(6): 103-107.
- [8] 成培, 胡峰松, 栗智. 基于 Chord 的结构化 P2P 路由改进算法[J]. 2009, 30(1): 63-65.
- [9] 周敏奇. 基于格雷码的结构化对等计算系统及其数据管理[D]. 上海: 复旦大学, 2008, 9: 97-98.

作者简介:

刘金岭 男, (1958-), 教授. 研究方向为数据库、数据仓库及数据挖掘。

(上接第 102 页)

- [5] Chen Weizen, Lin Dashin. A 90-dBm 10-Gb/s optical receiver analog front-end in a 0.18- μ m CMOS technology[J]. IEEE J. Solid State Circuit, 2007, 15(3): 358-364.
- [6] Eduard Sackinger, Wilhelm C. Fischer. A 3-GHz 32-dB limiting amplifier for SONET OC-48 receivers[J]. IEEE J. Solid State Circuit, 2000, 35(12): 1884-1888.
- [7] Mohan S S, Hersenson M, Boyd S P, et al. Bandwidth extension in CMOS with optimized on-chip inductors [J]. IEEE J. Solid State Circuit, 2000, 35(3): 346

-355.

- [8] 张家川, 刘伯安. 高速多电平 LVDS 收发器设计[J]. 微电子学与计算机, 2007, 24(4): 69-71.

作者简介:

刘帅锋 男, (1982-), 硕士. 研究方向为高速集成电路设计。

梁远军 男, (1982-), 博士. 研究方向为高速集成电路设计、系统级封装。