

空间数据访问规律的动态统计算法

潘少明¹ 徐正全¹ 刘小俊¹

(1 武汉大学测绘遥感信息工程国家重点实验室,武汉市珞喻路 129 号,430079)

摘要:根据日志信息得到的静态访问分布,不能真实反映系统当前的访问特征,而大规模分布式节点环境下,简单的复制和分发将带来不可承载的网络流量。为此,提出一种基于 P2P 的海量空间数据访问分布动态统计融合算法。通过节点映射和优选算法,充分利用节点闲置资源,优先选择服务能力“好”的节点进行统计信息的融合。实验表明,该算法能满足大规模节点下空间数据访问分布的动态融合要求,且效率较高。

关键词:空间数据;访问规律;动态统计;全局;P2P

中图法分类号:P208

空间数据访问规律可以为空间数据的存储组织、副本数量及其缓存和预取^[1-4]提供依据。Danyel 提出数字地球系统中的影像瓦片请求符合幂律分布^[5],可以很准确地匹配系统的实际运行状况^[6],但没有给出具体的分布特征。王浩揭示了数字地球中影像数据的静态访问规律^[7],但不能反映动态热点的变化。为提高数据分发性能,马修军等提出一种 P2P 环境下将空间信息通过同步复制的机制来保持信息的时效性和一致性^[8],但带来了不可承载的网络流量。本文针对上述问题提出一种新的基于节点代理的 P2P 海量空间数据访问规律动态统计方法。

1 动态统计模型

1.1 主要算法思想

P2P 环境下,每个服务器根据其所处范围加入分组。每个节点都拥有分组内的其他邻居节点列表,且每隔一个调度周期向分组内其他节点发送自己的节点信息,称为节点映射(peer map, PM)。通过交换节点映射,分组内所有节点都可以由节点列表了解邻居节点能力的分布情况;在进行统计信息代理分发时,考虑节点带宽、负载和服务延迟,选择合适的节点提供代理服务。区别于随机节点选择的统计融合算法 Rand,称该算法为 PPC(peer providing capability)。具体过程

为:

1) 所有节点依据规则加入分组^[9],分组内部依据节点能力大小选择一个“好”节点作为代理节点;所有代理节点依据相同规则继续分组,依次类推,形成多层代理分组模型;

2) 分组内根据 P2P 的原则进行统计信息的融合,分组内的融合信息由代理节点在上层分组内继续融合,最后形成全局统计信息。

代理节点不但为分组内其他服务节点提供动态统计信息的融合和分发,同时也要为其客户端提供空间数据访问服务。设服务器节点总个数为 S ,统计的地形数据瓦片总块数为 N ,节点 i 称为 p_i 。定义节点 i 由一个三元组 $\langle b_i, q_i, c_i \rangle$ 描述,其中 b_i 表示节点带宽; q_i 表示节点服务请求队列长度; c_i 表示节点服务的客户端个数。基于以上定义,节点映射 PM 则是由不同节点的三元组组成的内存块,按照 $\langle i, \langle b_i, q_i, c_i \rangle, j, \langle b_j, q_j, c_j \rangle, \dots \rangle$ 的形式组织。

1.2 节点选择算法

由于节点服务能力的差异性,选择一个“合适”的节点进行统计信息的代理传输,必须在充分考虑传输速度的同时,尽量降低对“好”节点的负载。定义 PPC 作为节点选择依据,PPC 最大的节点被选择提供代理服务,如果存在相同 PPC 的节点,则从中随机选择。节点 p_i 的服务能力 PPC_i 定义为:

收稿日期:2013-02-11。

项目来源:国家自然科学基金资助项目(41271398);国家 973 计划资助项目(2011CB302306)。

$$PPC(p_i) = \frac{b_i}{r_q \times q_i + r_c \times c_i} \quad (1)$$

式中, r_q, r_c 为平衡服务队列长度参数 q_i 和服务客户端个数 c_i 的系数。设 r_q, r_c 分别为平均客户端个数和平均服务队列长度, 则有:

$$r_q = \sum_{i=1}^S c_i / S, r_c = \sum_{i=1}^S q_i / S \quad (2)$$

将式(2)代入式(1), 并化简可得:

$$PPC(p_i) = \frac{S \times b_i}{q_i \times \sum_{j=1}^S c_j + c_i \times \sum_{j=1}^S q_j} \quad (3)$$

式中, $S \times b_i$ 表示节点 i 能提供的最大服务能力, 节点带宽越大, 服务能力越强, 被选择提供代理服务的可能性越大; $q_i \times \sum_{j=1}^S c_j$ 表示节点 i 等待服务排队队列; $c_i \times \sum_{j=1}^S q_j$ 表示节点 i 需要服务的客户端数量, 队列越长, 节点提供服务的延迟也越大; 客户端数量越多, 说明节点潜在服务负担越重, 被选择提供代理服务的可能性就越小。

1.3 节点映射对性能的影响分析

节点映射中, 三元组 b_i, q_i, c_i 分别占用 4 byte。按照更新交换的原则, 由于 b_i 变化小, 不需要经常更新, 故可以忽略。因此, 一次更新交换中, 一个节点产生的更新数据量最大为 8 byte。按照每组节点成员 50 个计, 每秒更新一次, 则交换节点映射时, 在组内产生的网络流量为 3.2 Kb/s, 对空间信息服务性能影响有限。当组内成员扩大到 500 个时, 组内产生的网络流量将达到 32 Kb/s, 这将对地形漫游产生影响。因此, 组内成员的个数不能无限制扩大。

1.4 算法对性能的影响分析

假设每个服务器的服务带宽为 $B(\text{Mb/s})$, 全部用于数字地球用户的访问; 其访问的平均瓦片大小为 $\text{Tile}(\text{Kb})$, 则每个服务器被数字地球用户访问的瓦片数为 $S = \frac{B \times 1024}{\text{Tile} \times 8}$ (块/s); 最坏情况下, 每次访问的瓦片都不相同, 则最大需要统计的瓦片数量也只有 S (块/s)。假设每个被访问瓦片在统计时占用 5 byte (4 byte 瓦片地址, 1 byte 瓦片访问次数), 则每个服务器产生的统计流量为 $P = S \times 5 \times 8 = \frac{B \times 5120}{\text{Tile}}$ (b/s), 即统计流量为 $P = \frac{5B}{\text{Tile}}$ (Kb/s)。

定义开销代价 Cost 为统计服务带宽支出占总带宽的比重, 则有:

$$\text{Cost} = \frac{P}{B \times 1024} = \frac{5}{\text{Tile} \times 1024} \quad (4)$$

式(4)表明, 一般情况下, 服务器的统计开销代价和瓦片大小成反比。瓦片越大, 开销代价越小; 反之, 开销代价越大。以 SRTM90 数据为例, 空间数据瓦片平均大小为 44 Kb, 则开销代价约为 0.01%, 对系统访问服务的影响可以忽略不计。考虑一个字节的统计信息表达最大可以记录 256 次访问, 因此, 对瓦片的多次访问并不能带来更多统计信息量, 以上分析还是偏于保守的。

以上分析的是出口统计代价(即统计信息输出), 对于人口统计代价(即统计信息输入), 以组内 1 000 个服务器为例, 可高达 10%, 而 P2P 环境下, 服务器的数量远远大于 1 000 个, 这对空间信息服务性能的影响是巨大的。因此, 从算法对性能的影响角度, 也需要通过节点的分组和分层控制组内节点规模。

2 实验与结果分析

2.1 实验模型

1 次统计平均消耗的时间为 t , t 越小, 统计速度越快, 服务器节点也能更加及时地调整缓存和预取策略, 提高普通节点访问空间数据的速度。

利用 NS2 仿真, 服务器节点实现两种空间数据访问统计方法: ① 节点随机选择融合机制, 在请求节点代理融合时, 从中随机选择一个服务器节点作为代理节点; ② 基于本文的代理节点选择算法。以 SRTM90 地形数据为实验数据, 数据大小约 44 Kb。

2.2 算法性能对比实验

以节点第 1 层分组代理为例(多层分组代理算法类似), 模拟 100 台服务器节点, 服务器带宽服从 $[75 \text{ Mb/s}, 125 \text{ Mb/s}]$ 的均匀分布。按照负载均衡的原则, 每台服务器分配 190~210 个客户端, 且模拟负载均衡算法存在 10% 的误差, 客户端带宽平均为 512 Kb/s, 记录每次统计平均融合时间 t , 每统计 10 次取平均值。图 1 给出了对比实验结果。

实验表明, 由于选择“好”的节点进行统计信息的融合, 平均统计速度更快, 时间更短。计算表明, 代理算法的性能比随机算法提高 22% 左右。

2.3 节点规模对算法性能影响实验

按照 § 2.2 的实验模型, 分别模拟 10、20、30、40、50、60、70、80、90、100 台服务器节点进行对比实验, 图 2 为对比实验结果。

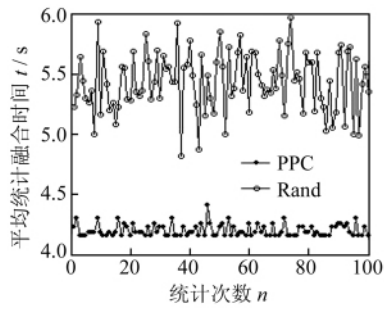


图1 算法性能对比实验

Fig. 1 Average Time in Different Algorithm

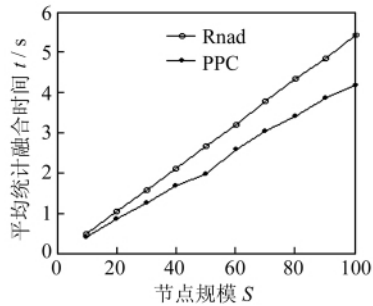


图2 不同节点规模性能对比实验

Fig. 2 Average Time in Different Node Scale

实验表明,不同节点规模下,平均统计时间随节点规模线性增长,但代理算法增长较慢。算法表明,代理融合更能适合大规模节点。

2.4 节点能力分布对算法性能影响实验

按照 § 2.2 的实验模型,服务器带宽按照 $100 \pm [0 \sim 50]$ Mb/s 范围内服从均匀分布进行对比实验,图3为对比实验结果。

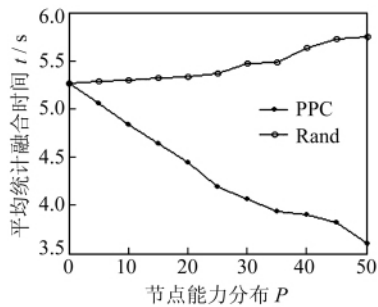


图3 不同节点服务能力性能对比实验

Fig. 3 Average Time in Different Node Scale

实验表明,不同节点能力分布下,代理算法的平均统计时间随服务器节点能力分布的扩散而下降,而随机算法的平均统计时间随服务器节点能力分布的扩散而上升。这是因为,依据算法模型,

① 服务器节点能力分布越扩散,代理算法中选择到的“好”节点能力越强,因此,平均统计时间会下降;② 随机算法中,选择到的节点可能更“好”,也可能更“差”,由于随机性以及统计次数的有限性,随机算法的平均统计时间会缓慢上升。

空间数据访问规律的动态统计和融合旨在实时获取空间数据访问规律,以更好地为空间数据存储与缓存、预取提供依据。本文算法模型能很好地满足大规模节点应用需求。下一步需要在信息压缩和粒度统计等方面进行研究。

参 考 文 献

- [1] 王浩,喻占武,曾武,等. 基于瓦片寿命和访问热度的海量空间数据缓存置换策略[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2009, 34(6):667-670
- [2] 潘少明,喻占武,李锐,等. 基于主动缓存的P2P海量地形漫游瓦片调度算法[J]. 测绘学报, 2009, 38(3): 236-241
- [3] Krumm J, Horvitz E. Predestination; Where Do You Want to Go Today? [J]. Computer, 2007, 40(4): 105-107
- [4] Liao L, Patterson D J, Fox D, et al. Learning and Inferring Transportation Routines[J]. Artificial Intelligence, 2007, 171(5/6): 311-331
- [5] Danyel F. Hotmap: Looking at Geographic Attention[J]. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 2007, 13(6):1 184-1 191
- [6] Li Q, Zheng Y, Xie X, et al. Mining User Similarity Based on Location History[C]. The 16th ACM GIS, Irvine, California, USA, 2008
- [7] 王浩,潘少明,彭敏,等. 数字地球中影像数据的Zipf-like访问分布及应用分析[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2010, 35(3):356-359
- [8] 马修军,刘晨,谢昆青,等. P2P环境下的全局空间数据目录研究[J]. 地理与地理信息科学, 2006, 22(3): 22-25
- [9] 潘少明,喻占武,王浩. 基于节点分组的P2P海量地形数据共享机制[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2009, 34(6):650-653

第一作者简介:潘少明,副教授,研究方向为多媒体通信与海量空间信息存储。

E-mail:pansm@lmars.whu.edu.cn

(下转第741页)

- [11] Nedas K A, Egenhofer M J. Spatial-Scene Similarity Queries[J]. Transactions in GIS, 2008, 12(6): 661-681
- [12] 吕秀琴, 吴凡. 多尺度空间对象拓扑相似关系的表达与计算[J]. 测绘信息与工程, 2006, 31(2): 29-31
- [13] Schwering A. Approaches to Semantic Similarity Measurement for Geo-Spatial Data: a Survey[J]. Transactions in GIS, 2008, 12: 5-29
- [14] Schwering A, Raubal M. Spatial Relations for Semantic Similarity Measurement[J]. Lecture Notes in Computer Science, 2005, 3 770: 259-269
- [15] Tversky A. Features of Similarity[J]. Psychological Review, 1977, 84(4): 327-352
- [16] Gentner D, Markman A B. Structure Mapping in Analogy and Similarity[J]. American Psychologist, 1997, 52(1): 45-56

第一作者简介: 孟妮娜, 讲师, 博士, 主要研究方向: 地图综合、空间关系、空间相似性理论与方法。
E-mail: zhouxdm@163.com

Similarity Calculation of Adjacency Relations Attended to Sequence Difference Between Group Objects

MENG Nina¹ AI Tinghua² ZHOU Xiaodong³

(1 College of Geology Engineering and Geomatics, Chang'an University, 126 Yanta Road, Xi'an 710054, China)

(2 School of Resources and Environmental Science, Wuhan University, 129 Luoyu Road, Wuhan 430079, China)

(3 Xi'an Institute of Surveying and Mapping, 1 Yanta Road, Xi'an 710054, China)

Abstract: Aiming at the similarity quantitative calculation of adjacency relations, we combine the feature model and the alignment model of similarity measures based on confirming characteristic quantity of adjacency relations, and build the similarity calculation method of adjacency relations between group objects attended to sequence difference. Finally, the method is verified by an example of usability.

Key words: adjacency relation; similarity; sequence difference; data matching; Delaunay triangulation

About the first author: MENG Nina, Ph. D., lecturer, majors in map generalization, spatial relation and theory of spatial similarity.
E-mail: zhouxdm@163.com

(上接第 736 页)

Dynamic Statistical Algorithm of Spatial Data Access Laws

PAN Shaoming¹ XU Zhengquan¹ LIU Xiaojun¹

(1 State Key Laboratory of Information Engineering in Surveying, Mapping and Remote Sensing, Wuhan University, 129 Luoyu Road, Wuhan 430079, China)

Abstract: The tile access has dynamic features (server peer capability, storage device and hot tiles have dynamic features) and the Hotmap model based on the historical log information can not reflect the real system's current global information. Reproduction and distribution will produce a huge network flow rate in a large scale distributed nodes environment. A dynamic statistics algorithm for the distribution rule of the spatial data based on P2P is proposed to resolve above-mentioned problems. The service capabilities of the service nodes are calculated in this algorithm. The node agents with good service capabilities are chosen preferentially in the group to fuse dynamic statistical information. The experimental results show that the algorithm can meet the need of dynamic statistics in large scale distributed nodes environment with high efficiency.

Key words: spatial data; access law; dynamic statistics; global; P2P

About the first author: PAN Shaoming, associate professor, majors in multimedia communication and massive spatial information storage.
E-mail: pansm@lmars.whu.edu.cn