

文章编号: 1007-2861(2009)04-0421-05

并行多层快速多极子算法最细层数据的建立

郭海林, 胡悦, 童维勤, 支小莉

(上海大学 计算机工程与科学学院, 上海 200072)

摘要: 分布树最细层数据的建立是并行多层快速多极子算法(MLFMA)的基础. 最细层数据分布均匀与否, 会影响到后续整个算法的负载平衡及其并行效率. 研究了最细层数据的建立方法, 提出采用并行正则采样排序算法来代替众多文献所推荐的并行桶排序算法, 以此来建立分布树的最细层数据. 针对多种常见的散射体在不同处理器数下的实验结果表明, 在大多数情况下, 改进后的算法较原算法性能有较为明显的提高.

关键词: 多层快速多极子算法; 分布树; 并行正则采样排序; 并行桶排序; 消息传递接口

中图分类号: TP 301; TN 95

文献标志码: A

Finest Level Data Building for Parallel Multi-level Fast Multi-pole Algorithm

GUO Hai-lin, HU Yue, TONG Wei-qin, ZHI Xiao-li

(School of Computer Engineering and Science, Shanghai University, Shanghai 200072, China)

Abstract: The finest level data building of a distributed tree is a foundation of parallel multi-level fast multi-pole algorithm (MLFMA). Whether the finest level data is distributed equally or not will affect load balancing of the whole algorithm and its parallel efficiency. This paper studies building methods of the finest level data for the parallel MLFMA. Instead of parallel bucket sort recommended by some authors, a scheme using parallel regular sampling sort algorithm to construct the finest level data of the distributed tree is presented. Experimental results on some common scattering objects with different numbers of processors show that, in most cases, the improved algorithm can achieve better performance than the original one.

Key words: multi-level fast multi-pole algorithm (MLFMA); distributed tree; parallel regular sampling sort; parallel bucket sort; message passing interface (MPI)

研究电大尺寸的电磁散射问题, 对于雷达工程、隐身工程、反隐身工程、目标探测、作战仿真等都有重要的意义. 多层快速多极子算法(MLFMA)^[1]自诞生以来, 就以其在解决电大尺寸的电磁散射问题

中所体现出的卓越性能而得到广泛的应用. 随着问题规模的增大, 例如对于特别复杂的电磁散射目标(如飞行器等), 其对时间和内存方面的要求使得串行 MLFMA 已无法满足, 因此 MLFMA 的并行化处理

收稿日期: 2008-03-14

基金项目: 总装预研项目

通信作者: 童维勤(1964~), 男, 教授, 博士, 研究方向为高性能计算. E-mail: wqtong@shu.edu.cn

已成为趋势. 另外, 随着计算机集群这种廉价高性能计算机的出现, 越来越多的科研人员开始有条件进行相关的高性能计算研究. 在集群环境下进行基于消息传递接口(MPI)的 MLFMA 并行化的研究就是其中的热点之一, 其基础是一棵分布树的建立过程^[2,3]. 串行 MLFMA 树的建立有两种方法, 一种方法是由上向下建树, 另一种是由下向上建树, 而由下向上建树的策略更适合并行 MLFMA^[2]. 若采用由下向上的方法建树, MLFMA 分布树最细层数据的建立就显得尤为重要, 最细层数据分布得均匀与否会影响到后续整个并行算法的负载均衡, 进而会影响到整个算法的执行效率和机群各结点的存储需求^[2]. 本工作通过改进分布树最细层数据的分布算法, 加速了 MLFMA 最细层数据的建立过程.

1 分布树最细层数据的建立^[1]

并行多层快速多极子算法的核心过程是由聚合、转移、下解三个步骤完成的, 在这三个步骤中均涉及到计算和通信操作, 其数据结构基础是一棵分布树, 如图 1 所示. 分布树本来是一棵完整的树, 因其需要的内存空间过大以及建树后的一些计算过于复杂, 而将树的各个分枝分散存储在机群的各个结点中. 本算法中的分布树一般采用八叉树^[1]结构, 即树中非叶子结点最多有 8 个子结点. 树的最细层数据来源于对散射体进行三角剖分后所产生的几何文件. 几何文件中有剖分三角形的内边、点等信息.

最细层数据的建立一般有 2 种策略: (1) 由主结点计算, 然后均匀散播到其他各个从结点; (2) 各结点同时并行计算, 然后再调整使其均匀. 具体采用哪种方法是由计算/通信决定的, 这实际上就是该不该并行化的问题. 而这部分的计算涉及内边到 Morton key^[4]的计算、Morton key 的排序、三角形的面积、三角形内外矢径等多种计算. 如果问题规模较大, 计算将非常耗时, 又因为最细层以上的数据都是并行分布计算的, 所以一般采用并行计算的方法来进行最细层数据的建立.

1.1 算法描述

文献[2,5]介绍的做法是分四步完成这一过程, 记 edge 为几何文件中被剖分物体内边的序号, key 为内边所对应的 Morton key, 则这一过程可以如下简单描述: (1) 读入几何文件建立本结点负责的 $\langle \text{edge}, \text{key} \rangle$; (2) 初次调整 $\langle \text{edge}, \text{key} \rangle$ 使得其按

key 全局有序、局部有序分布; (3) 进一步调整 $\langle \text{edge}, \text{key} \rangle$ 使其按 key 均匀分布; (4) 读入与本结点负责的内边相关的三角形、点等数据.

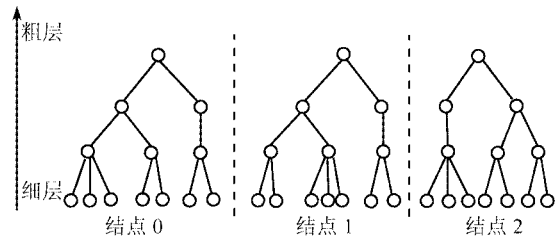


图1 分布树

Fig. 1 A distributed tree

上述第二步实际上是并行排序的过程, 现有的很多文献认为这一过程实际上是通过并行桶排序^[6]来完成的, 如图 2 所示. 为了简化, 图中用 key 序列进行举例说明.

1.2 算法改进

并行桶排序是基于原始数据成均匀分布的假设下提出的, 而事实上对于一些典型的散射体, 其最细层组 key 的分布并不均匀, 如环、立方体、球、钻石体等. 如果用立方体把它们逐层细分^[2]的话, 在某些比较集中的部位必然会产生大量的空组, 在数值上就表现为全局排序后 key 的区间分布很不均匀. 如图 2 所示, 初始 key 序列经第一次分布后, 区间 $[6 \sim 35]$, $[36 \sim 65]$, $[66 \sim 95]$ 中 key 的个数分别为 9, 3, 12, 很不均匀. 事实上对于一些典型模型的数据, 还会出现某些结点区间内 key 的个数为 0 的情况. 这样对局部快速排序过程中负载均衡和多对多通信中数据量的规模大小都会有较大的影响.

保持原算法的第一、三、四步基本不变, 主要着眼于第二步的改进. 第二步处理后的 $\langle \text{edge}, \text{key} \rangle$ 的分布直接影响第三步的处理时间, 第二步处理后的 $\langle \text{edge}, \text{key} \rangle$ 分布得越均匀, 第三步的开销就越小. 两算法第四步的开销相同, 所以对第二步的改进主要是设法使其处理之后的 $\langle \text{edge}, \text{key} \rangle$ 尽可能地均匀, 笔者提出在第二步用并行正则采样排序^[7-8]来代替并行桶排序.

和并行桶排序不同, 并行正则采样排序和原始数据是否成均匀分布没有直接的关系, 它通过局部排序选择样本元素的方式往往能得到较为合理的枢轴元素, 进而不同的处理器下分配数据, 因而它适合的数据面更广. 如图 3 所示, 用枢轴记录 32, 88, 将 key 在各结点间调整后, 各结点最后的 key 的个数分别为 7, 10,

7,比较均匀,虽然没有达到理想的8,8,8分布,但比起图2最后的key的个数分布9,3,12来说已经有很大的

改善.这样第三步均匀调整的开销就会相对减少.和图2一样,为了简化,我们只用key序列举例说明.

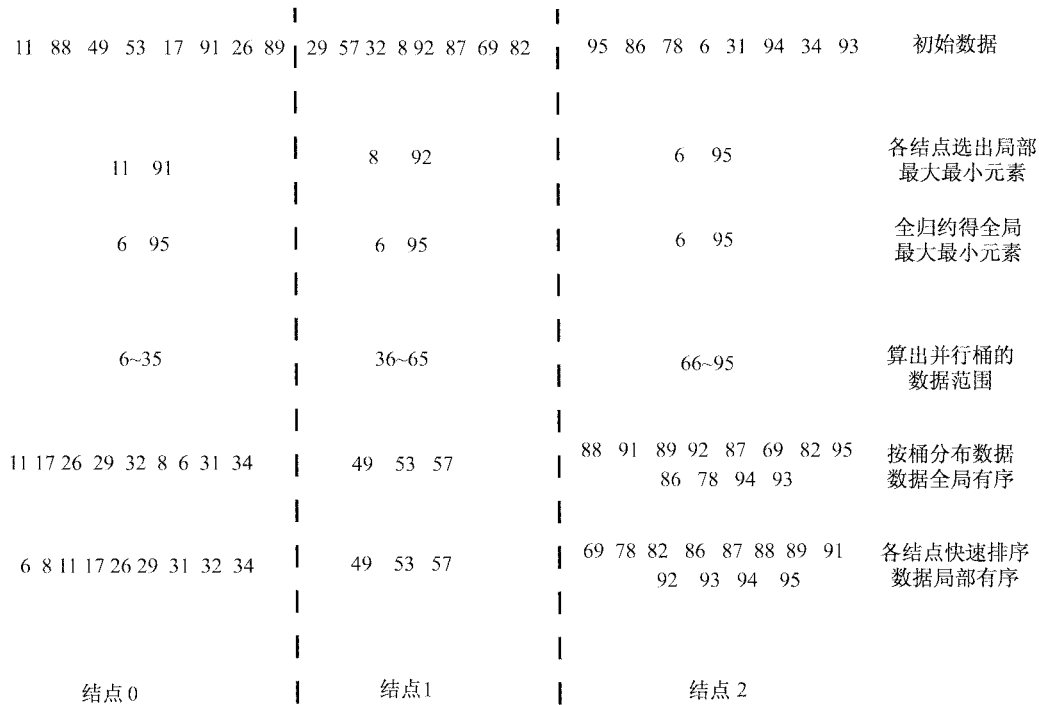


图2 并行桶排序

Fig.2 Parallel bucket sort

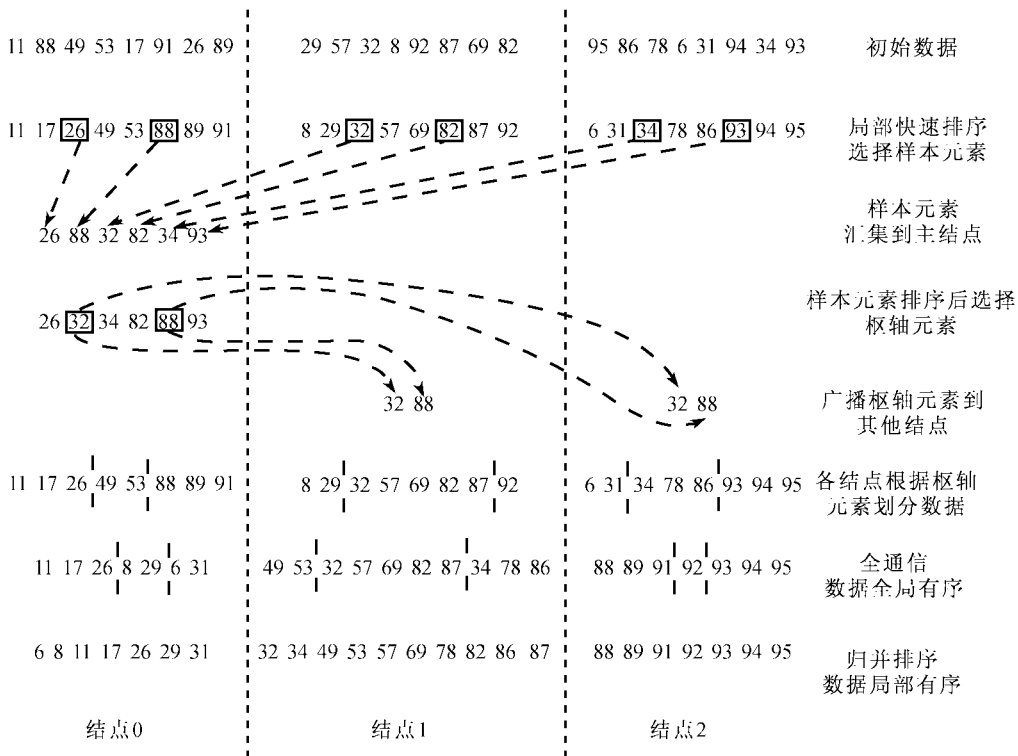


图3 并行正则采样排序

Fig.3 Parallel regular sampling sort

2 实验结果

在上海大学“自强 3000”高性能计算机上的 MPI 环境下,我们分别以环、球、立方体、钻石体四种不同的常见散射体在两种算法下建立分布树最细层数据的时间开销进行了统计。“自强 3000”共有 196 个结点,每个结点的配置为 Xeon 3.06 GHz, 2 G 内存,所用的 MPI 环境是 mpich 1.25. 由于这部分的执行时间较短,故采用循环多次执行、累加求和的方法来记录,如表 1~表 4 所示(其中 n 代表问题规模, f 代表频率, e 代表执行次数).

表 1 环 ($n=3\ 221, f=0.3\ \text{GHz}, e=1\ 000$)

Table 1 Ring ($n=3\ 221, f=0.3\ \text{GHz}, e=1\ 000$)

结点数	原算法 时间/s	改进后的算 法时间/s	提高效 率/%
1	11.85	12.42	
2	9.98	8.46	15.23
3	8.21	6.99	14.86
4	6.94	4.91	29.25

表 2 球 ($n=3\ 072, f=0.3\ \text{GHz}, e=1\ 000$)

Table 2 Sphere ($n=3\ 072, f=0.3\ \text{GHz}, e=1\ 000$)

结点数	原算法 时间/s	改进后的算 法时间/s	提高效 率/%
1	11.50	12.63	
2	9.17	9.12	0.55
3	7.15	6.35	11.19
4	5.87	5.17	11.93

表 3 立方体 ($n=180\ 000, f=3\ \text{GHz}, e=10$)

Table 3 Cubic ($n=180\ 000, f=3\ \text{GHz}, e=10$)

结点数	原算法 时间/s	改进后的算 法时间/s	提高效 率/%
1	6.14	6.76	
2	6.46	5.69	11.92
3	4.31	3.84	10.90
4	3.24	2.79	13.89

表 4 钻石体 ($n=85\ 524, f=3\ \text{GHz}, e=100$)

Table 4 Diamond ($n=85\ 524, f=3\ \text{GHz}, e=100$)

结点数	原算法 时间/s	改进后的算 法时间/s	提高效 率/%
1	31.81	31.04	
2	22.32	25.36	-13.62
3	17.82	15.74	11.67
4	14.46	12.37	14.45

从表 1~表 4 可以看到,一般情况下,在多处理器下改进后的算法比原算法的时间开销要小,且对不同的散射体在不同的处理器数下其效率提高的幅度不同,从 0.55%~29.25% 不等,说明了该算法的有效性.但在某些情况下,由于原算法第二步用并行桶排序将数据分布得较为均匀,会出现采用改进后的算法开销较大的情况(如表 4 中第二组数据,其效率反而下降了 13.62%),不过在散射体分布不均匀的情况下出现概率较低^[8],这是因为并行正则采样排序对任意分布的原始数据都具有较好的划分性,而并行桶排序一般情况下只对均匀分布的原始数据具有较好的划分效果.在单处理器下对比两并行算法的执行效率是没有意义的,所以表中对这一项记录不作统计.另外通过纵向看算法的执行时间,可以发现随着结点数的增多,算法的执行时间在减少,说明了这一过程并行化的合理性.

3 结束语

本工作提出在 MLFMA 分布最细层数据时,采用并行正则采样排序来代替众多文献中所推荐的并行桶排序来改进原算法,加速了这一过程的建立.在上海大学“自强 3000”高性能计算机上的实验结果表明,改进后的算法的执行效率较原算法有较为明显的提高,说明了改进后的算法的合理性和有效性.研究整个分布树的建立和后续的矩矢乘积操作^[1,2,9]的改进,对提高整个 MLFMA 的性能有着更为重要的意义,这也是我们进一步将要做的工作.

参考文献:

- [1] SONG J M, LU C C, CHEW W C. MLFMA for electromagnetic scattering from large complex objects [J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 1997, 45(10):1488-1493.
- [2] VELAMPARAMBIL S, CHEW W C, SONG J M. 10 million unknowns; is it that big? [J]. IEEE Antennas and Propagation Magazine, 2003, 45(2):45-46.
- [3] HARIHARAN B, ALURU S, SHANKER B. A scalable parallel fast multipole method for analysis of scattering from perfect electrically conducting surfaces [C] // Conference on High Performance Networking and Computing Proceedings of the 2002 ACM/IEEE Conference on Supercomputing, Baltimore, Maryland, USA. [S. l.]: IEEE Computer Society Press, 2002:1-

- 17.
- [4] WARREN M S, SALMON J K. A parallel hashed oct-tree N-body algorithm [C] // Proceedings of the 1993 ACM/IEEE Conference on Supercomputing, Portland, Oregon, USA. [S.l.]: ACM, 1993:15-17.
- [5] 韩明华,彭宇行,李思昆,等. 基于Linux 集群电磁散射并行计算实现[J]. 计算机研究与发展, 2005, 42(6): 1085-1088.
- [6] GRAMA A, GRUPTA A, KARYPIS G, et al. 并行算法导论[M]. 张武,毛国勇,程海英,等译. 2版. 北京:机械工业出版社, 2005.
- [7] 陈国良,安虹,陈峻,等. 并行算法实践[M]. 北京:高等教育出版社, 2004.
- [8] SHI H, SCHAEFFER J. Parallel sorting by regular sampling [J]. Journal of Parallel and Distributed Computing, 1992, 14(4):361-372.
- [9] VELAMPARAMBIL S, CHEW W C. Analysis and performance of a distributed memory multilevel fast multipole algorithm [J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2005, 53(8):2719-2727.
- (编辑:刘志强)

(上接第420页)

- [12] BISSESSUR R, DEGROOT D C, SCHINDLER J L, et al. Inclusion of poly(aniline) into MoO_3 [J]. J Chem Soc Chem Commun, 1993, 15(8):687-689.
- [13] LIU X X, BIAN L J, ZHANG L, et al. Composite films of polyaniline and molybdenum oxide formed by electrocodeposition in aqueous media [J]. J. Solid State Electrochem, 2007, 11(9):1279-1286.
- [14] SHAO K, MA Y, CHEN Z H, et al. In situ insertion of poly(aniline) into molybdenum oxide layers [J]. Chemistry Letters, 2002, 31(3):322-323.
- [15] POSUDIEVSKY O Y, BISKULOVA S A, POKHODENKO V D, et al. New polyaniline- MoO_3 nanocomposite as a result of direct polymer intercalation [J]. J. Mater Chem, 2002, 12(5):1446-1449.
- [16] BALLAV N, BISWAS M. Conductive composites of polyaniline and polypyrrole with MoO_3 [J]. Materials Letters, 2006, 60(4):514-517.
- [17] JING Y, PAN Q Y, CHENG Z X, et al. Direct thermal intercalation of amine into layered MoO_3 [J]. Mat Sci Eng B, 2007, 138(1):55-59.
- [18] HOSONO K, MATSUBARA I, MURAYAMA N, et al. Synthesis of polypyrrole/ MoO_3 hybrid thin films and their volatile organic compound gas-sensing properties [J]. Chem Mater, 2005, 17(2):349-354.
- [19] NAM H J, KIM H D, CHANG S H, et al. Polymerization of aniline in the galleries of layered HNbMoO_6 [J]. Solid State Ionics, 1999, 120(1):189-195.
- [20] KANATZIDIS M G, BISSESSUR R, DEGROOT D C, et al. New intercalation compounds of conjugated polymers. encapsulation of polyaniline in MoS_2 [J]. Chem Mater, 1993, 5(5):595-596.
- (编辑:刘志强)