

④ 117-120

杆系结构总刚组装的一种高效并行算法

吕恩琳^①

向世明^②

(^① 重庆大学建筑工程学院, 重庆, 400044; ^② 华中理工大学力学系; 第一作者 51 岁, 男, 教授)

0342

TU323.01

摘要 针对统一访问的共享存储系统为 Do-Loop 并行化给出了平衡排序的方法。结合单元分组和平衡排序提出了一种高效的适合杆系结构总刚组装的并行算法。

关键词 杆系结构; 总刚组集; 并行算法

中国图书资料分类法分类号 O242.21

平衡排序

总刚组集

0 引言

大型杆系结构的节点往往连系着多根杆件,且各节点间所连系的杆件根数参差不齐,给总刚并行组装带来了困难。但当杆系结构每两个不同的节点仅连着一根杆件时,可以采用单元分组的方法(即着色分组)^[1~3]。着色分组使每个单刚都能以并行的方式组集进总刚。但是,对于杆系结构,它可能使各组所分得的单元个数差别较大,而出现负荷很不平衡的问题。

统一访问的共享存储系统(Uniform-access, Shared Memory System)的每个处理机都用同一时间访问全局存储器,多处理机工作站 Silicon Graphics 具有这样的功能。笔者针对这类系统提出平衡排序的概念,并在此基础上给出了一种高效的杆系结构总刚组集的并行算法。

1 平衡排序

平衡排序的目的是为了减少由于静态任务分配所造成的负荷不均衡程度。其基本思想是把大的和小的任务分派相结合,使各处理机处理的任务在总量上大体持平。

设处理机的台数为 P ,并假定有大小为 N 的序列 $\{A(i)\}$,且 $\{A(i)\}$ 已按大或小的顺序排好,其中, $A(i)$ 代表循环指针取 i 时所处理的任务数。平衡排序有简单排序、首尾取段和混乱排序等方法。简单排序是把上述序列按 P 分段,凡是奇数段就进行倒排;首尾取段法把首尾两段排放在一起,其中任何一段以倒排方式安置,子序列长度不足 $2P$ 时把它们按倒排方式放置于序尾;混乱排序法是通过对所有任务进行检索,使各处理机处理的任务大致相同。

2 一种高效的总刚组集并行算法

为了增加并行粒度,首先按单元分组技术对结构进行分组。

设处理机台数为 P ,按单元连续分组方法的要点如下:

- 1) 一般分组需连续进行若干轮, 在每一轮中各台处理机选取的单元个数相同, 记为 $n_j, j = 1, \dots, L, L$ 为分组的总轮数;
 - 2) 按单元号递增顺序进行检索;
 - 3) 每台处理机第 i 次选取的单元的节点号应不属于该机第 $1, 2, \dots, i-1$ 次所选单元的节点号, 这里 $i = 1, \dots, M, M = \sum_{j=1}^L n_j$;
 - 4) $n_j (j = 1, \dots, L)$ 的取值用试探法, 当找不到大于零的 n_j 时, 分组结束。
- 凡是被选中的单元, 其单元直接并行计算进入总刚。

以图 1 为例简要说明上述原则的实施。令 $P = 4$ 。图 1 是厂房四角卸物网架的一部分。按以上原则 $L = 1, n_1 = 8$, 图 1 所示部分共分为 4 组。

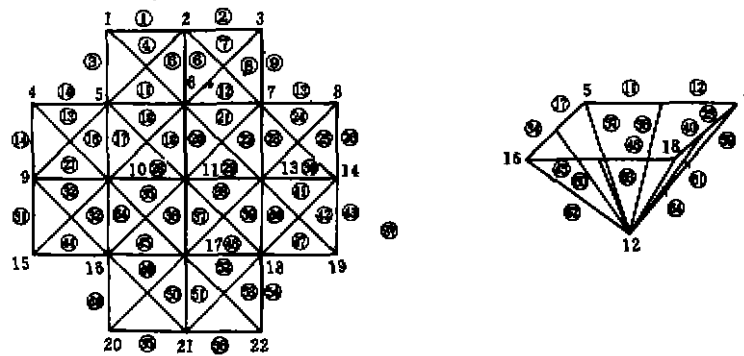


图 1 卸物网架结构

第 1 组单元号集合是 $\{1, 8, 10, 13, 27, 29, 43, 44\}$

第 2 组单元号集合是 $\{2, 3, 12, 14, 25, 28, 42, 45\}$

第 3 组单元号集合是 $\{4, 5, 9, 15, 26, 31, 36, 39\}$

第 4 组单元号集合是 $\{6, 16, 22, 30, 33, 46, 48, 56\}$

可以看出经过分组后, 所剩残余部分还有很多单元, 对于紧密节点更是如此, 例如节点 12 所连系的单元一次也未被选中。显然研究残余部分的刚度组集对提高并行效率很有意义。

对于多轮分组之后的部分, 按节点对其进行检索, 记录每个节点相连的单元的个数, 然后从多到少地排列。结果如下:

12, 17, 18, 6, 10, 13, 5, 7, 11, 16, 21, 19, 20, 22, 2, 9, 14

对这些节点所连系的单元的个数进行平衡排序。三种平衡排序结果比较见表 1。

三种方法都使负荷不平衡程度得到减少。最好的方法是简单排序方法。不进行平衡排序时各处理机处理的任务的最大差额为 8, 简单排序法把它降为 2, 首尾取段法降为 5, 混乱排序降为 6。

表 1 三种排序方法中各组所分配单元数的比较

	不进行平衡排序	简单排序	首尾取段	混乱排序
1	20	15	19	20
2	17	17	15	14
3	15	15	14	15
4	12	17	16	15

现在具体地研究残余部分刚度组集。单元刚元素按图 2 被分成三部分。各机按指针数组检索出要计算的节点,再由节点号检索出所联系的单元号。设第 i 个处理机分得第 j 节点号的第 m 号单元,且 m 号单元的局部坐标原点为 j 节点。则第 i 机把图 2“*”位置的元素组集到总刚。

如果 j 号节点不是局部坐标的原点,则应组集图 2“@”位置的元素到总刚,此时不会发生同时读写的冲突。

由于假定两个节点只连系着一根杆件,因而图 2“#”位置处的元素可以在单元一级并行组集。

上述方法是一种高效的分组分级的总刚矩阵的并行组集方法。这种方法开发了并行性,增加了并行计算的粒度而使负荷达到相对平衡。

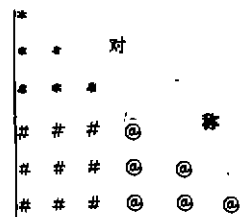


图 2 单元组集元素示意图

3 算例及结论

现应用 Silicon Graphics(调用两个 CPU)计算 4 个算例。

第 1 个算例包括 20 节点 72 杆 16 个变量;第 2 个算例则是 36 节点 144 杆 32 个变量;第 3 个算例包括 52 节点 216 杆 48 个变量;第 4 个算例则是 68 节点 288 杆 64 个变量。计算规模(自由度,单元)和对应的串行计算(单个 CPU)、并行计算的时间(s)比较见表 2。

表 2 并行算法和串行算法速度比较

算例	算例规模 (自由度,单元数)	串行时间/s	并行时间/s	加速比	节约时间/s
1	(48,72)	0.85	0.69	1.2318	0.16
2	(96,144)	1.81	1.42	1.2746	0.39
3	(144,216)	3.76	2.82	1.3333	0.94
4	(192,288)	5.93	4.30	1.3790	1.60

从上表的数据可知,随着自由度的增加,加速比也稳步地增加,而且十分明显,所节约的时间也大大提高。由于在设计程序时采用平衡排序处理有限元方程组的 Gauss 分解过程,极大地减少了由于三角分解所引起的负荷不均衡程度,开发并行性的同时提高了系统的利用

率。这种高效的并行组集方法使得每个单元的单刚总组都是以并行方式完成的,并且这种方法不增加系统的存储压力,程序设计简易。

参 考 文 献

- 1 胡宁,张汝清. 并行的有限元刚度阵组集方法. 工程力学,1991,8(2):14~18
- 2 张汝清. 并行计算结构力学. 重庆:重庆大学出版社,1993. 191~195
- 3 周树荃,梁维泰,邓绍忠. 有限元结构分析并行计算. 北京:科学出版社,1994. 124~125

An Effective Parallel Algorithm for Assembling the Global Stiffness Matrix of Structures of Beam System

Lu Enlin Xiang Shiming

(College of Civil Engineering, Chongqing University)

ABSTRACT Based on uniform-access and shared memory system, the conception of "balancing permutation" and corresponding methods for Do-Loop parallelization are given in this paper. By combining element-group and balancing permutation, and effective parallel algorithm for assembling the global stiffness matrix of structures of beam system is put forward.

KEYWORDS structures of beam system; assembling global stiffness matrix; parallel algorithm

(责任编辑 钟学恒)

简讯

京津沪渝港台科技期刊主编研讨会在京举行

1998年京津沪渝港台科技期刊主编研讨会于1998年10月27日~31日在北京举行。我校钟学恒同志出席了这次会议。

应邀与会的中宣部、国家科技部等部门的领导同志相继做了热情的讲话。与会代表就有关期刊主编们共同关心的“办刊的策略,质量的把握,读者的定位,办刊的手段以及经营管理等方面”进行深入的研讨。

我校钟学恒同志代表重庆科技期刊编辑学会以“重庆市科技期刊的现状和发展趋势”为题作了大会发言。