



CN9900383

CNIC-01313

CAEP-0002

中国核科技报告

CHINA NUCLEAR SCIENCE AND TECHNOLOGY REPORT

光子输运的数值并行计算

THE NUMERICAL PARALLEL COMPUTING
OF PHOTON TRANSPORT

(In Chinese)



30 - 12

中国核情报中心
原子能出版社

China Nuclear Information Centre
Atomic Energy Press



黄清南： 中国工程物理研究院研究员，1965年毕业于福州大学数学力学系计算数学专业。

HUANG Qingnan: Professor of the China Academy of Engineering Physics. Graduated from Mathematics and Mechanics Department of Fuzhou University in 1965, majoring in computational mathematics.

CNIC-01313
CAEP-0002

光子输运的数值并行计算*

黄清南 梁晓光 张利发

(中国工程物理研究院, 成都, 610003)

摘 要

阐述光子输运问题的并行计算, 探讨适合于共享存储体系结构并行机和分布存储体系结构并行机的并行算法及程序并行化技术。通过对光子输运数学物理模型内在规律的剖析, 并针对并行机的结构特点, 运用“分而治之”策略, 调整程序算法结构, 分解数据相关性, 发掘并行(向量)化潜力, 创建大粒度并行子任务, 将光子输运的串行计算有效地转化成既可向量化又可并行化的并行计算。并且先后在 YH-1 机(PVP)、Challenge 机(SMP)和 YH-3 机(MPP)等不同类型的高性能并行机上进行数值模拟计算, 取得了很好的并行(向量)加速比。

*中国工程物理研究院科学基金资助项目。

The Numerical Parallel Computing of Photon Transport

(In Chinese)

HUANG Qingnan LIANG Xiaoguang ZHANG Lifa
(China Academy of Engineering Physics, Chengdu, 610003)

ABSTRACT

The parallel computing of photon transport is investigated; the parallel algorithm and the parallelization of programs on parallel computers both with shared memory and with distributed memory are discussed. By analyzing the inherent law of the mathematics and physics model of photon transport according to the structure feature of parallel computers, using the strategy of “to divide and conquer”, adjusting the algorithm structure of the program, dissolving the data relationship, finding parallel liable ingredients and creating large grain parallel subtasks, the sequential computing of photon transport into is efficiently transformed into parallel and vector computing. The program was run on various HP parallel computers such as the YH-1 (PVP), the Challenge (SMP) and the YH-3 (MPP) and very good parallel speedup has been gotten.

引言

按存储方式分类,当前的并行机可分为两类: SMP (Symmetry Multiprocessors) 和 MPP (Massively Parallel Processing)。前者为共享存储体系结构,后者为分布存储体系结构,它们同属 MIMD 型,都是当前国内外比较流行的并行机。SMP 具有可编程性,不易扩展;MPP 具有可扩展性,不易编程,两者的结合将是今后并行机发展的趋势。因此,研究适合于这两种类型并行机的并行算法和并行程序设计技术,对于高效使用并行机具有重要的现实意义。

光子输运问题的数值计算在高科技领域有着广泛的应用。尤其在核聚变模拟 (ICF) 和 X 光激光研究中占着十分重要的位置。光子输运是一个很经典的、又很复杂的问题。由于受计算量和计算机条件的限制,以往在大多数情况下,有效的数值方法是将光子输运问题简化为扩散近似过程。但扩散近似产生的误差较大,对光子在光性薄介质中传输的计算是很不准确的。因此,对光性薄的区域必须采用光子输运方程才能够精确地描述光子的传播过程。然而,由于光子输运问题的算法结构非常复杂,计算量极其庞大,一般的计算机难以承受。常规的串行计算需耗费大量机时,还常常得不到计算结果,又因其数据相关性强,不适合于并行机上运行,所以探索光子输运问题的并行计算成为人们关心的亟待解决的重要课题。本文着重描述光子输运的几种不同的并行计算格式,并分别在不同类型体系结构的并行计算机上设计并程序,进行数值模拟。

1 光子输运的常规算法

1.1 微分方程

考虑光电过程和韧致过程以及它们的逆过程的定态光子输运方程,可以写成如下的形式:

$$c\Omega \cdot \nabla f(r, \nu, \Omega) = cK_{ob} \left\{ e^{-\nu/T_0} [1 + f(r, \nu, \Omega)] - f(r, \nu, \Omega) \right\} + cK_{fb} [1 + f(r, \nu, \Omega)] - cK_{bf} f(r, \nu, \Omega) \quad (1)$$

这里 r, ν, Ω 分别代表位置、频率和方向; $f(r, \nu, \Omega)$ 为光子的分布函数。 K_{ob}, K_{fb}, K_{bf} 为 r, ν 的函数, c 为光速。

$$\begin{aligned} \text{定解条件为} \quad & f(r, \nu, \Omega) \Big|_{r=0} = 0 \\ & f(r, \nu, \Omega) \Big|_{r=0} = f(r, \nu, -\Omega) \Big|_{r=0} \quad (r, \Omega < 0) \end{aligned}$$

1.2 差分近似

对于方程 (1) 采用特征线方法求解, 即得差分方程如下:

$$\begin{aligned} f_{g,m,k+1} &= f_{g,m,k} \cdot e^{-\sigma_{g,k+1/2} (S_{m,k+1} - S_{m,k})}, \quad (k = 1, 2, \dots, k_0; \quad m = 1, 2, \dots, 2N; \quad g = 1, 2, \dots, NG) \\ f_{g,m,k_0} &= 0, \quad (m = 1, 2, \dots, N) \end{aligned} \quad (2)$$

$$f_{g,m,1} = f_0, \quad (m=N+1, N+2, \dots, 2N, \quad g=1, 2, \dots, NG)$$

式中 f_0 为常数。 σ 的计算表达式 $\sigma_{g,k+1/2} = K_{bg,k+1/2} \cdot (1 - e^{-\nu_g/T_e}) + K_{bfg,k+1/2} \cdot K_{fbg,k+1/2}$, ν_g 为光子的频率分群, T_e 为电子温度。

2 光子输运的向量化计算

2.1 有效的向量化算法

光子输运的向量计算主要是以 YH-1 向量机为平台。对于 YH-1 向量机, 它的体系结构的重要特点是含有长度为 128 的向量功能部件, 支持向量运算。因此, 必须设计一种可向量化的算法。光子输运的核心部位是光子方程的计算。它是一个伴有空间点、群数、方向等多重循环的算法结构。我们要从隐含在差分方程内的错综复杂的内在并行性中分离出可向量化的并行成份。通常情况下, 光子群数是大量的, 至少有 100 群以上, 如果按群数组织向量运算, 具有向量长度长的优势, 能够较充分发挥向量功能部件的作用。因此, 必须重新调整构造算法, 使之适于按群数向量化。显然, 下列两种算法都是以群数为内核的有效的向量化算法, 即“方向一点一群向量格式”与“点一方向一群向量格式”。其形式如下:

$$\begin{bmatrix} f_{k+1,m,1} \\ f_{k+1,m,g} \\ \vdots \\ f_{k+1,m,NG} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_{k,m,1} \\ f_{k,m,2} \\ \vdots \\ f_{k,m,NG} \end{bmatrix} \cdot e^{-\begin{bmatrix} \sigma_{k+1/2,1} \\ \sigma_{k+1/2,2} \\ \vdots \\ \sigma_{k+1/2,NG} \end{bmatrix} \cdot (S_{k+1,m} - S_{k,m})} \quad (k=1,2,\dots,K_0; m=0,1,2,\dots,N) \quad (3)$$

2.2 向量化程序设计

我们采用下列三项有效的技术措施以强化向量化设计。

(1) 调整多重循环结构, 将低效向量化转化为高效向量化

在向量机上, 程序高效运行的关键是向量化功能的强弱。程序的向量化一般是针对循环结构中的最内层循环。它的循环次数与向量化功能强弱有关。次数越多, 向量化功能越强, 次数越少, 功能越弱。而光子输运方程的计算都是呈现多重循环结构形式, 有物质区循环、分点循环、群数循环、方向循环等等, 它们往往互相交织嵌套在一起构成多重循环体结构。为了利于向量计算, 必须将群数循环调整到循环结构中的最里层, 以增强程序向量化功能。通过调整和重构, 光子输运程序中大多数的循环结构的内核都是群数循环, 确保了程序能够按群数进行向量计算。这是光子输运向量程序高效运行的关键。

(2) 改变程序结构, 将不可向量化转换成为可向量化

程序高效运行的基础是良好的程序结构。通常, 许多大型科学计算程序, 执行 DO 循环所花费的时间是很多的, 特别是象光子输运程序复杂的多重循环结构, 执行时间很长, 是向量化的重点对象和核心部位。然而, 并非所有 DO 循环都能向量化, 有些 DO 循环, 不仅算法复杂, 而且还存在一些 IF 条件语句和 GOTO 转语句, 难以向量化。因此, 必须

理顺各种条件的依赖关系，重新设计与改造程序，使 DO 循环具有良好的可向量化结构，从而把不可向量化的串行程序转化为可向量化的并行程序。

(3) 某些数据相关问题向量计算

数据相关是一个典型的顺序串行计算问题。倘若 DO 循环体中存在着数据相关，对其向量化非常不利。在光子输运数值计算中，数据相关性和依赖性很复杂。数据相关通常表现为控制相关和操作数相关，它们直接影响程序运行效率。因此，必须分别情况采取相应的对策，如引用向量实用过程函数，重编高效向量子程序或者通过向量压缩还原等手段，化解数据相关性，使得向量化计算更加有效。

2.3 在 YH-1 向量机上的数值模拟

我们采取相同条件下的并行与串行对比计算的方式，在 YH-1 向量机上分别测试光子输运向量程序和串行程序的实际执行时间，结果如表 1 中所列，向量加速比达到 18 倍。

表 1 在 YH-1 上光子输运向量程序与串行程序运行效率比较

模型	串行程序执行时间 TS	向量程序执行时间 TV	向量加速比 SP
1	232.765282	12.670798	18.370
2	695.460399	37.721004	18.437
3	3538.202326	192.783946	18.352
4	5818.210049	316.687873	18.372

3 光子输运程序并行化的设计技术

光子输运的数值计算和原型程序是在传统的串行计算机上设计的。显然它不适合于并行计算。然而，它计算量极大，就有可能隐含着内在的并行性。因此，研究光子输运程序的并行化，应尽可能地开发其并行性，并进行必要的算法改造和程序重构。

面对成千上万的程序代码，如何发掘有效的并行化潜力呢？我们采用如下一些关键技术：

(1) 通过对原型程序进行静态分析与动态测试，确定并行化的重点模块，在光子输运程序中，FHPNTE 子程序模块包含了光子方程、占据数概率方程、温度方程（包括热传导和碰撞）的计算等，是光子输运程序的核心部位，其计算量约占全部程序计算量的 90% 以上，是耗时最多的子程序。显然它具有潜在并行性，隐含着相互交织的并行成分。因此，在探讨程序并行化时，应将重点放在这个核心部位上的算法设计与改造。

(2) DO 循环结构依然是并行化的重点对象，但与向量化不同的是并行化 DO 循环，技术难度要大得多。特别是并行运行 DO 循环涉及到调度和同步等额外开销，假如循环体没有足够的计算量，就难以弥补额外开销所付出的代价。因此，还必须进一步分析和确定可实施并行化的重点部位—循环结构，才能开发真正有效的并行潜力。

(3) 变隐式迭代为显示迭代。众所周知，隐式迭代其数据相关性很强，根本不适于

并行计算，并行化无从谈起。因此，为了探讨程序的并行化，我们改用显式迭代，为并行化创造必要条件。

(4) 分解数据相关性。进一步分析拟作并行化的循环结构，对循环体中的所有变量或数组进行详尽分析与检查，逐一分离出有数据相关的变量和数组。然后，采用一切可行的措施，改写程序，化解数据相关性。例如，在光子输运程序并行化的循环体中，原先就有三个数组（CGMAK，SGMK，FHW）存在着数据相关性，阻碍着该循环体的并行化。为此我们将计算这三个数组的表达式分离出来构成另外一个可并行化的循环体，让其事先计算后存放在工作数组中。这样做实质上就是牺牲一定计算量和存储空间，以消除数据相关性，从而达到高效并行的目的。

寻求大粒度并行。要挑选计算量足够大的循环结构作并行化，否则难以弥补系统调度和同步等待带来的额外开销。为此，我们采取下列技术措施，增大并行循环结构的计算量，扩大并行计算粒度：变四重循环为三重循环，将物质区循环与分点循环合并为总点数循环，并使之置于循环体的最外层；调整循环体内部的结构，将计算量特大的群数循环和方向循环置于并行循环体的内层。

(6) 运用“区域分解”原则划分并行子任务。并行区域的合理分割，尽可能使各处理机之间的任务达到负载平衡。任务分割应考虑到算法特点和机器特点，既要注重静态负载平衡，又要考虑和关注由于动态计算量不均匀的划分，使得快进程等待慢进程而消耗较多的时间，从而造成负载不平衡。光子输运 MPP 并行计算和 SMP 并行计算分别采用两种不同的分割方法，目的在于尽量使各 CPU 的任务（计算量）大体相当，达到负载平衡。

总而言之，对于 MIMD 型并行计算机，不论是分布存储结构（如 MPP、网络群机等），还是共享存储结构（YH-2，Challenge 等）其程序并行化的设计技术和原则是相同的。然而，这两类机器的体系结构不一样，在具体实施并行化过程中，还必须按照各自机器的特性设计与编制并程序，并程序才能得以高效运行。

4 光子输运 SMP 并行计算

光子输运 SMP 并行算法设计主要是以 Challenge 和 YH-2 为平台。这两种并行机都是 MIMD 型共享存储体系结构，都具有四个中央处理机，所不同的是 Challenge 每个处理机都是标量机，而 YH-2 每个中央处理机都是向量机。

4.1 MIMD 并行算法设计

多任务并行算法设计的基本策略是并行化不应牺牲向量化为代价。因此，我们在以群为内核的向量算法的基础上，设计如下三种不同的区域分解算法：

(1) 方向分解算法

方向分解算法指的是按方向划分子任务的并行算法。它把方向置于循环结构的外层，其并行任务粒度较大。而且方向个数一般都可设定为 CPU 个数的整数倍，较容易做到任务划分达到静态负载平衡。然而，它的不足之处是受方向控制的循环体的计算量并非最大，

占整体计算量的比例偏小，又不均匀，容易造成各个 CPU 之间“忙”、“闲”不均的动态负载不平衡。

(2) 空间点分解算法

空间点分解算法是按空间点划分子任务的并行算法，它将空间点置于循环结构的外层，也可以形成较大粒度的并行任务。但循环体内与空间点有关的某些变量（包括数组元素）数据相关较严重，对并行化不利，并行化的实现也比较困难。

(3) 物质区分解算法

物质区分解算法是按物质区划分子任务的并行算法。它将物质区置于多重循环结构的最外层。通过外层循环的并行化，可创建大粒度的并行任务。对光子输运的多任务并行计算是最有利。它是一种“外层按物质区并行化，内层按群数向量化”的并行（向量）计算模式，很适合于共享存储结构的适度并行计算。

4.2 Challenge 机上并程序序设计

利用 Challenge 机上配置的 POWER FORTRAN 语言(PFL)，其并行化模型主要实现 FORTRAN 的 DO 循环的并行化。它是通过并行指令 C\$DOACROSS 来实现的。

光子输运 SMP 并行程序设计，选用好的并行算法是程序设计的基础；构造大粒度的可并行化 DO 循环结构是关键。在可并行化的 DO 循环之前插入并行指令 C\$DOACROSS，让系统自动分解 DO 循环中的独立数据，并分配到多处理机上执行并行计算。此外，我们还采用交替分割技术，以防止各次循环迭代因动态计算量不均，而导致各个 CPU 负载不平衡。

4.3 Challenge 机上数值模拟试算结果

我们选用五种不同的计算规模，在 1 个 CPU，2 个 CPU，3 个 CPU，4 个 CPU 上进行模拟测试，其结果如表 2 所示。

表 2 光子输运并行程序在 Challenge 上的运算效率比较

CPU 个数	实际运行时间	并行加速比	并行效率/%
1	1731.491	1.00	100
2	875.787	1.98	98.9
3	618.521	2.80	93.3
4	462.120	3.75	93.7

由图 1 可见，对于相同的计算规模，并行加速比随 CPU 个数增加而线性增长；对于不同的计算规模，并行加速比随计算规模的增大而增长。

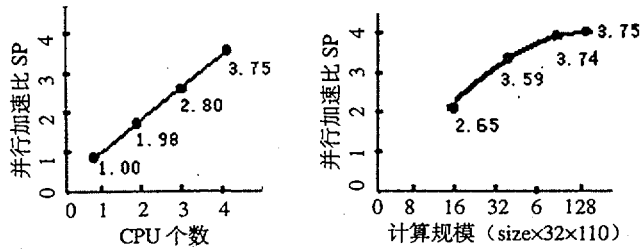


图 1 CPU 个数、计算规模与并行加速比的关系示意图

5 光子输运的 MPP 并行计算

5.1 MPP 并行算法设计

MPP 并行计算是由多台处理机通过并发局部处理和相互信息传递协同地求解同一个问题。通常 MPP 系统含有成百、上千、上万个处理单元，它们是通过高性能互连网络相互互联构成的大规模并行计算机系统。其处理单元相当于一台工作站的核心部分，绝大多数的 MPP 系统都属于具有分布式存储系统的多指令流、多数据流 (MIMD) 的体系结构。

鉴于 MPP 并行机系统具有众多的计算处理结点，为了让系统中更多的处理结点发挥效率，我们根据 MPP 并行机体系结构特点，对光子输运的算法结构作进一步调整与改进，在物质区分解算法的基础上，设计了“总点—方向—群数”的算法模式，它具有总点数量多和可扩展性能好的优点，尤其适合于分布存储的 MPP 并行计算。

5.2 MPP 并行程序设计

5.2.1 网络并行计算平台 PVM

由于 MPP 并行机问世时间不长，MPP 并行算法研究还跟不上应用的需要，MPP 并行程序设计和应用软件开发任重道远。编程困难成了 MPP 并行机应用的瓶颈。对于 MPP 系统，要实现由多台处理机来进行并行程序设计，都要求系统能提供消息传递机制，并以此作为一种最主要、最基本的技术途径。目前，网络并行虚拟机 PVM (Parallel Virtual Machine) 具有通用性能强及系统规模小的特点，已被广泛应用于所有的消息传递环境。而且多数的 MPP 计算机系统都把 PVM 作为并行程序设计的支撑软件平台。所以光子输运 MPP 并行程序设计正是运用 PVM 支撑软件平台将算法变为并行程序。

5.2.2 并行程序设计的基本思想与模式

(1) 并行程序设计一般采用数据并行 (data-parallel) 模式，如图 2 所示。

(2) 利用系统提供的并行程序设计支撑软件 (如 PVM)，用户根据已设计好的并行算法将任务划分成几个进程，在这些进中间分配数据和任务，并且通过对通讯函数库中函数的调用，规定这些进程之间的相互通讯。然后启动这些进程，让它们相互作用直至共同完成一个任务，收集结果。这些进程被分配到所有可得到 (或指定) 的处理机 PE 中，既

可以一个进程对应一台 PE，也可以多个进程位于同一台 PE。

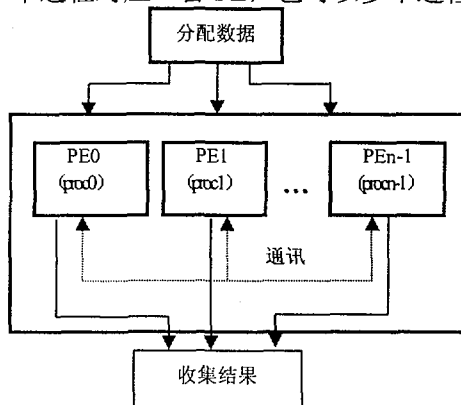


图2 数据并行示意图

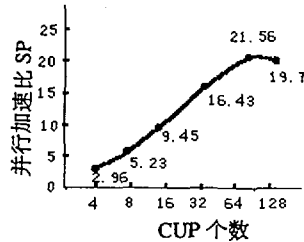


图3 CPU个数与并行加速比的关系示意图

(3) 两种程序设计模式。多数 PVM 并行应用程序的设计都是采用 SPMD 和 master/slave 两种典型的结构化模式，PVM 可以支持任何形式的并行结构，即 PVM 的任何一个任务可以在任何时刻与任何其它一个任务进行通讯和同步。

SPMD 模式即单个程序、多重数据的编程模式。所有任务均为同一程序的副本。在 SPMD 模式中，一个系统的所有处理机可运行着同一个程序文本，但是，在不同的处理机上，通过该程序，沿着不同的路径，可以执行不同的计算过程。

Master/slave 模式即主/从结构模式。多个执行计算功能的 slave 进程为一个或多个 master 进程工作，一个 master 程序创建并控制几个执行具体计算的 slave 程序。master 首先调用 PVM 库函数将主进程注册为 PVM 进程，使应用程序跟 PVM 建立联系，然后创建一个新的 PVM 进程用来在宿主机上运行 slave 程序，每个 slave 程序再注册为 PVM 进程得到自己的进程号，接着通过发送和接收函数在各个进程间传递消息，相互通讯。

5.2.3 编程模式

设计光子输运 MPP 并行程序，我们采用 master/slave 结构的编程模式。

master 程序的设计，除了保留输入/输出数据的处理、初值的计算、计算结果的输出等功能外，应使其适于消息传递机制，能激活各子进程的从任务，给各个子进程分配数据，能及时地向各个子进程广播消息（进程号，各类相关变量与数组），并且接受来自各个子进程传送来的消息，收集处理结果数据。

slave 程序的设计是光子输运 MPP 并行计算的关键。首先，要把包含计算光子方程、占据数概率方程、温度方程等在内的核心部位，从原程序中挑选分离出来，设计成可分割的独立程序，使其计算粒度尽可能大，通讯开销尽可能小。为了尽量减少通讯，要从 slave 程序段中逐一确定必需参与消息传递的各种变量（数组）及类型。并按实际需要引进通讯机制，传递相关信息。

5.2.4 子任务分割

并行算法设计通常使用“分而治之”（Divide and Conquer）策略，在设计光子输运 MPP

并行计算时，我们运用这种策略给进程划分子任务。假设总点数为 n ，处理机台数为 p ，显然有下列两种划分方法：

(1) 片（块）分割方法：对总点数分片（块），每个进程计算其中的一片（块），则有 PE_i 计算第 $i \times n/p + 1$ 点到 $(i+1) \times n/p$ 点。

(2) 循环分割方法：对总点数循环分割，按卷帘方式计算，即 PE_i 计算第 $i+1, (i+1)+p, (i+1)+2p, \dots, (i+1)+jp$ 点， $((i+1)+jp \leq n)$ 。

实际上，我们采用了片（块）分割方法。对于 MPP 机和 PVM 而言，这样划分的任务更有利于静态负载平衡和减少通信。

5.3 在 YH-3 并行巨型机上的试算情况

YH-3 并行巨型机是 MPP 大规模并行计算机系统，有 128 个计算处理结点，其峰值速度为 130 亿次/秒。光子输运 MPP 并行程序首先在 PVM 平台上进行数值模拟，然后在 YH-3 MPP 并行机上进行实际试算，结果如表 3 所示。

表 3 YH-3 上光子输运计算规模为 $128 \times 32 \times 110$ 的运行效率比较

使用的 CPU 个数	各个 CPU 并行计算时间总和	实际并行算法时间	并行加速比	并行效率/%
4	4061	1373	2.96	74
8	4055	775	5.23	65
16	4072	431	9.45	59
32	4091	249	16.43	51
64	4140	192	21.56	34
128	4299	218	19.72	15

上述结果表明：对固定规模计算问题，加速比随 CPU 数目近线性增长；随着计算规模的增大，对应加速比亦随之明显增大；当 CPU 个数为 128，恰好等于问题规模的总点数，由于各个子任务内部动态计算量不均，又无调节余地，造成较严重的负载不平衡，影响并行加速比的增长。

6 结论

并行性普遍存在于事物之中，许多大型科学计算问题均不同程度地隐含着内在的并行规律。如何去发现与开发其深层次的并行性规律，这是并行算法研究中面临的重要课题；面对当前各种各样的并行计算机，如何更好更有效地发挥并行机系统的高性能，使并行机系统资源得以充分利用。这也是并行计算所涉及和要解决的另一重要课题。

通过对光子输运程序并行化技术的研究和数值实验，结果表明：研究与设计高效并行算法的关键是揭示和挖掘隐藏在物理数学模型中的内在并行性规律。只有将深层次的并行性发掘出来，才有可能将其串行计算有效地转化为并行计算；而高效并行程序设计的关键在于：一是设计有效的并行算法，有效的并行算法设计必须针对具体数学模型并结合并行机类型特点；二是设计有效的并行化程序。并行化程序设计是并行计算的重要组成部分。有效的并行化程序设计，除了要体现有效的并行算法之外，同样必须更加紧密地结合具体

并行机体系结构特点。光子输运在不同并行机上的并行计算结果还进一步说明，对于同一个计算问题，在不同类型并行计算机上应有其不同特色的并行算法设计，才能很好拟合并行机特性，充分发挥并行机效率。向量化并行计算如此，共享存储的适度并行计算也如此，分布存储的 MPP 并行计算更是如此。算法与结构结合的好坏，直接影响机器系统效率的发挥。

光子输运的数值并行计算研究得到北京应用物理与计算数学研究所李德元教授的关心、支持、指导与帮助；张利发高级工程师参与项目研究工作，并给予大力支持与协助。特致衷心感谢！

参 考 文 献

- 1 孙家昶, 张林波, 迟学斌, 汪道柳. 网络并行计算与分布式编程环境. 北京: 科学出版社, 1996, 3
- 2 李晓梅等. 面向结构的并行算法设计与分析. 长沙: 国防科技大学出版社, 1996, 6
- 3 McBryan A. An Overview of Message Passing Environments *Parallel Computing* 20, 1994
- 4 Barr E. Bauer, *Practical Parallel Programming*, Academic Press, Inc., 1992
- 5 黄清南, 梁晓光, 张利发. 光子输运问题的并行计算研究. 第五届全国并行计算学术会议论文集, 西安: 陕西科学技术出版社, 1997, 9. 59~64

图书在版编目 (CIP) 数据

中国核科技报告 CNIC-01313 CAEP-0002: 光子运输的数值并行计算/黄清南等著. —北京: 原子能出版社, 1998. 12

ISBN 7-5022-1943-9

I. 中... II. 黄... III. 核技术-研究报告-中国 IV. TL-2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (98) 第36630号

光子运输的数值并行计算

黄清南等著

©原子能出版社, 1998

原子能出版社出版发行

责任编辑: 李曼莉

社址: 北京市海淀区阜成路 43 号 邮政编码: 100037

中国核科技报告编辑部排版

核科学技术情报研究所印刷

开本 787×1029 1/16 · 印张1/2 · 字数16千字

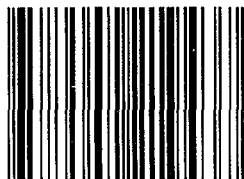
1998年12月北京第一版 · 1998年12月北京第一次印刷

定价: 5.00 元

CHINA NUCLEAR SCIENCE & TECHNOLOGY REPORT

This report is subject to copyright. All rights are reserved. Submission of a report for publication implies the transfer of the exclusive publication right from the author(s) to the publisher. No part of this publication, except abstract, may be reproduced, stored in data banks or transmitted in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise, without the prior written permission of the publisher, China Nuclear Information Centre, and/or Atomic Energy Press. Violations fall under the prosecution act of the Copyright Law of China. The China Nuclear Information Centre and Atomic Energy Press do not accept any responsibility for loss or damage arising from the use of information contained in any of its reports or in any communication about its test or investigations.

ISBN 7-5022-1943-9



9 787502 219437 >