

NEC 和非堵塞式主从并行遗传算法应用于 天线自动设计的研究

陈 星,黄卡玛,赵 翔
(四川大学电子信息学院,四川成都 610064)

摘 要: 利用优化算法和天线数值计算方法实现对天线结构的自动设计(Automated design)是现代天线研究的一个重要趋势.本文讨论了天线自动设计的原理和流程,采用遗传算法(Genetic algorithms)和 NEC(Numerical electromagnetics code)天线数值计算程序,建立了一套天线自动设计软件平台.采用并行计算技术提高自动设计效率,搭建了一套 Beowulf 并行计算机系统,首次提出非堵塞式主从并行遗传算法的实现方案.以对锥削螺旋-圆锥喇叭天线的自动设计为例,结果表明该自动设计软件平台具备对复杂天线进行准确和有效设计的能力.16 节点的并行效率达到了 82.25%,超过同类研究结果.

关键词: 遗传算法; NEC; 并行计算; 天线自动设计

中图分类号: TN82 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112(2004)08-1389-04

A Study of Applying NEC and Non-Blocking Master-Slave Parallel Genetic Algorithms to Automated Antenna Design

CHEN Xing, HUANG Ka-ma, ZHAO Xiang

(School of Electronic Science and Information, Sichuan University, Sichuan, Chengdu 610064, China)

Abstract: Automated antenna design based on optimization engines and antenna modeling programs has already become the latest trend of antenna design. An antenna automated design software package using Genetic Algorithms coupled with NEC (Numerical electromagnetics code) was introduced. To elevate efficiency of antenna design, a Beowulf parallel computing system was built, and a new proposal, namely non-blocking master-slave parallel Genetic Algorithm, was explored. The principle and methods of automated antenna design based on Parallel Genetic Algorithms was discussed. An example of automatically designing a tapered helix-conical horn antenna by the package was presented. Results show the package has ability to accurately and efficiently design complex antennas, and its parallel efficiency could be maintained at about 82.25% even when up to 16 processors were used, which is higher than corresponding methods.

Key words: genetic algorithm; NEC; parallel computation; automated antenna design

1 引言

传统天线设计通常是通过对简化或理想化的天线结构模型的分析,或者依据一些工程经验公式进行天线结构设计.设计非常依赖设计者的知识和经验,也难以做到最优设计.近年来,天线自动设计得到了重视和研究,它采用天线数值计算方法对天线性能进行仿真计算,利用遗传算法和神经网络等现代优化算法实现对天线结构的计算机辅助设计.已有研究^[1,2]表明,天线自动设计不但节省设计者大量的时间和精力,同时拓宽天线设计范围,提高设计精度,成为现代天线研究的一个新热点.

本文研究采用 NEC 天线数值计算软件和遗传算法实现

天线自动设计.为提高天线设计效率,构建了一套 Beowulf 并行计算机系统.首次提出一种非堵塞式(Non-blocking)主从并行遗传算法的实现方案,该方案基于简单的启发性规则,能平衡地向各节点机分配计算任务.开发了一套天线自动设计软件平台,并完成了对锥削螺旋-圆锥喇叭天线的自动设计,在 16 节点机上天线自动设计的并行效率达到 82.25%.

2 NEC 和遗传算法简介

NEC 是一类著名的天线数值计算软件,它由美国 Lawrence Livermore 实验室在美国海军和空军的资助下,于 20 世纪 80 年代初期编写.它以细线分段的方式模拟实际天线的结构,用矩量法计算天线辐射性能.问世以来得到了广泛应用,

其准确性和可靠性已为众多使用者和研究文献所证实^[3,4]。

遗传算法^[1,2,6~9]是美国密执根大学 Holland 教授模拟生物进化方式而提出的一种优化算法,具有搜索效率高、能够全局寻优和通用性强等特点。它仿效生物的进化与遗传,根据“生存竞争”和“优胜劣汰”的原则,借助复制、交换、突变等操作,使所要解决的问题从初始解一步步地逼近最优解。由于遗传算法的搜索不依赖于梯度信息和能全局寻优,非常适用于天线设计这类复杂和非线性问题。

3 Beowulf 并行计算机系统和并行遗传算法

在天线自动设计过程中,遗传算法要成千上万次地调用 NEC 天线数值计算程序,因此设计耗时长。并行计算是大幅度提高设计效率的一种有效方式。

3.1 Beowulf 并行计算机系统

与价格昂贵的大型机、巨型机相比,用一组廉价微机建立并行计算集群(常称为 Beowulf 系统),无疑具有更高的性价比。

我们利用 16 台微机构建了一套 Beowulf 系统(图 1 所示)。这 16 台微机通过星形拓扑结构的 100M 高速以太网相连接。每台微机上运行 Windows 2000 操作系统,安装 MPI 的 MPICH 新版本:MPICH.NT 1.2.3 作为系统的并行管理和并行程序开发平台。



图 1 Beowulf 并行计算机系统照片

3.2 遗传算法的并行处理

遗传算法具有固有的并行性,但实现高效率的并行计算迄今仍是难题^[6,8]。同类研究^[7~9]的并行遗传算法在 16 节点上的并行效率约为 50%~60%左右,接近一半的计算能力被浪费。

目前并行遗传算法主要有主从、粗粒度、细粒度三种模型,我们选择主从模型。主从模型的优点首先是它没有改动标准遗传算法的框架结构,比较直观且容易实现。其次目前遗传算法的大部分研究是针对串行遗传算法,新技术更容易在主从模型上应用。它主要缺点是主从节点间通信量较大,但本文构建的 Beowulf 系统具备每秒 100M bytes 的网络数据传输能力,而据测算,天线自动设计的一次数据传输量通常仅有数 K 至数十 K bytes(因节点机数、未知量数和数据精度而变化),因此数据通信量不是影响并行效率的主要因素。主从模型的基本思想是在并行系统上同时创建并运行一个主进程和多个从进程,由主进程完成除“个体适应度计算”外的所有操作,并控制和协调整个并行计算过程,费时的“个体适应度计算”则由各从进程并行地完成。

计算任务的平衡分配^[10]是取得高效率并行计算的最关键因素之一。对天线自动设计,由于天线尺寸的差异,天线数值计算耗时从数秒到数分钟不等,并且难以准确预计,因此实现计算任务在节点机上平衡分配是非常困难的。

目前已有的计算任务分配算法大多仅针对某类并行计算问题或特定并行计算机系统,应用范围狭窄。一些算法需要十分复杂的分配计算,不但编程实现困难,同时额外的计算耗时也将相当程度上抵消平衡分配带来的好处。某些算法制定任务分配方案时要求预知各任务在各节点的执行时间,这对天线自动设计是不现实的。

本文提出了一种“非堵塞式主从并行遗传算法”的实现方案。该方案利用简单的启发性规则实现并行任务平衡分配,如果某从进程完成已分配的任务并返回计算结果,主进程立即接收结果并分配新的计算任务,最大限度地让从进程满负荷工作。大计算量的任务被首先分配,并行任务完全“平衡”分配常常是不可能的,因此并行计算末期经常出现部分从进程仍在运算而部分从进程已“空闲等待”的现象,如果末期剩下是最小计算量的任务,这种现象可在尽量短的时间内结束,最大程度减轻对并行效率的影响。

该方案的实现流程(见图 2)采用了 MPI 的非阻塞式消息函数^[11]和“快速排序(Quick sort)”。NEC 天线数值计算的耗时正比于天线尺寸,因此可以用天线尺寸来比较任务的计算量。

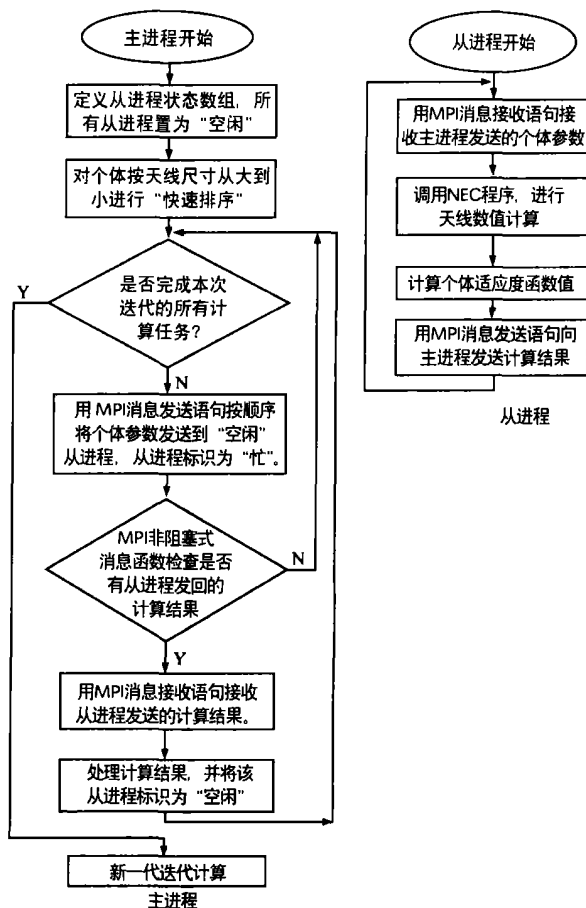


图 2 非阻塞式主从并行遗传算法流程图

4 天线自动设计的基本原理和流程

天线自动设计的基本原理是将天线设计转化为遗传算法的搜索寻优过程,用适应度函数反映天线设计的要求,引导适

设计算法的优化方向.图 3 为基于并行遗传算法的天线自动设计流程图.

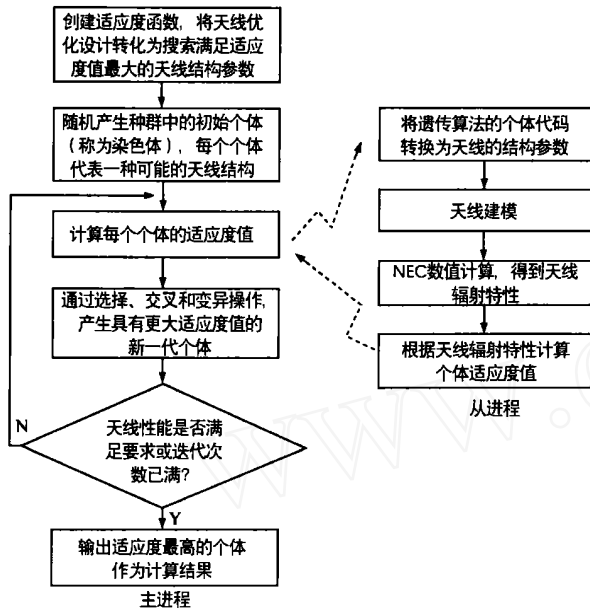


图 3 基于并行遗传算法的天线自动设计流程图

5 天线自动设计举例和分析

螺旋天线是一类重要的行波天线,对结构较简单的均匀螺旋天线 (Uniform helical antenna),传统天线设计有较完整的性能分析和设计方法.但对结构较复杂的变形螺旋天线,如锥削螺旋天线 (Tapered helical antenna),以及更复杂的组合天线,则因为理论分析难度大和缺乏工程经验公式,传统天线设计方法几乎难有作为.

将锥削螺旋天线的接地板改为圆锥喇叭,构成组合天线:锥削螺旋-圆锥喇叭天线 (Tapered helix-conical antenna).已有研究^[12]表明,如果该类组合天线通过恰当设计,使其结构尺寸搭配得当,能够具备高增益、主瓣窄和旁瓣低的优点.

设计要求为:工作频率 600MHz,螺旋轴长 L 限制在 80cm 内,轴向模辐射的条件下,通过天线自动设计使该组合天线具有尽可能大的增益.

定义遗传算法的适应度函数为:

$$Fitness = Gain - Angle \quad (1)$$

其中 Gain 为天线增益 (dB), Angle 为最大辐射方向偏离螺旋轴线的角度 (简称为偏离角). 和 为增益和轴向模辐射两个设计目标的加权因子,它们将天线设计的多目标优化转化为单目标优化.加权因子的取值反映了设计者对不同设计目标的侧重,具体取值大小根据设计要求和经验.这里取 为 0.06, 为 0.2.

遗传算法采用每代 50 个个体,迭代 100 代后得到的设计结果为:锥削螺旋近地端直径 22.44cm,远地端直径 10.06cm、螺距 8.85cm、螺旋轴长 78.1cm、螺旋距圆锥底高度 2.9cm、圆锥高 105.31cm、圆锥半张角 26.72°、圆锥底半径 19.73cm (三维结构模型见图 4). 该天线的性能参数为:增益 13.24dB、半功率角 36°、偏离角 0°.从辐射方向图 5 可以看出该组合天线有优良的性能,自动设计是成功的.

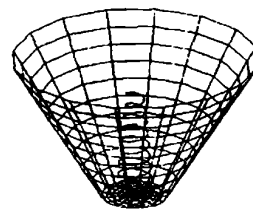


图 4 锥削螺旋-圆锥喇叭天线的三维结构模型

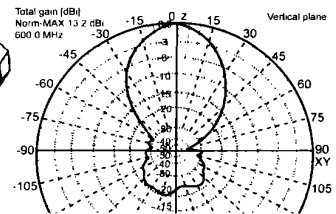


图 5 锥削螺旋-圆锥喇叭天线的方向图

图 6~8 为本例并行计算的测量数据.并行计算使整个设计工作由单机耗时 33.8 小时下降到 16 机并行耗时 2.6 小时,并行效率约为 82.25%,高出同类研究^[7-9]结果,这说明本文建立的 Beowulf 并行计算机系统和提出的并行遗传算法实现方案具有较高的并行效率.

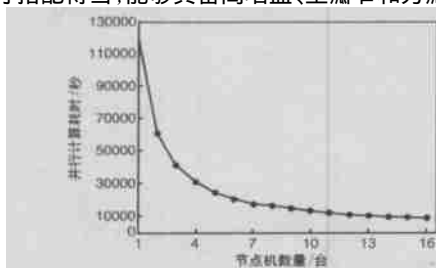


图 6 并行计算耗时

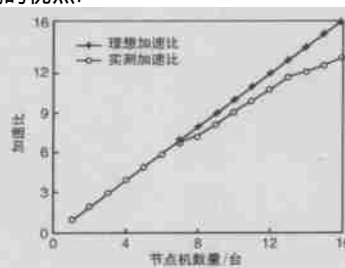


图 7 并行加速比

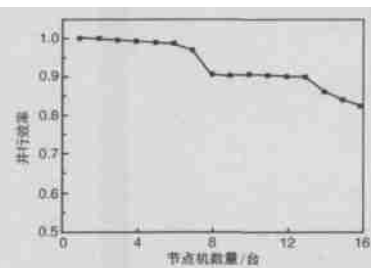


图 8 并行计算效率

6 讨论

天线自动设计涉及数值计算、优化算法、并行计算和软件工程等多个领域的研究工作,是一个复杂的系统工程.本文采用 NEC 天线数值计算程序和遗传算法,结合并行计算技术,建立了一套天线自动设计软件平台.对锥削螺旋-圆锥喇叭天线的自动设计为例,设计得到了性能优良的组合天线,实际测试得到了 82.25% 的 16 节点机并行效率.但天线自动设计

仍有许多方面需进一步研究,如遗传算法的适应度函数最佳定义、天线建模、提高优化算法的效率和智能性、以及将已有的天线设计理论和经验结合到自动设计中等.

参考文献:

[1] Z Altman ,et al. New designs of ultra-broadband antennas using genetic algorithms[A]. Proc. IEEE Antenna Propagation Soc. Int. Symp [C]. Seattle ,WA ,1994. 2054 - 2057.

- [2] D S Linden ,E E Altshuler. Automating wire antenna design using Genetic Algorithms[J]. Microwave Journal ,1996 ,39:74 - 86.
- [3] Richie J E ,Gangl H R. III. EFIE-MFIE hybrid simulation using NEC: VSWR for the WISP experiment[J]. IEEE Trans on Electromag. Compat ,1995 ,37(2) :293 - 296.
- [4] Peng J ,Balanis C A ,Barber G C. NEC and ESP codes: Guidelines ,limitations ,and EMC applications[J]. IEEE Trans on Electromag. Compat ,1993 ,35(2) :125 - 133.
- [5] T Sterling J ,Salmon ,D Becker ,D Savarese. How to Build a Beowulf :A Guide to Implementation and Application of PC Clusters[M]. Cambridge ,MA :MIT Press ,1999.
- [6] Erick Cantu-Paz ,David E Goldberg. Efficient parallel genetic algorithms :theory and practice[J]. Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering ,2000 ,186(2) :221 - 238.
- [7] S C Wong ,C K Wong ,C O Tong. A parallelized genetic algorithm for the calibration of Lowry model[J]. Parallel Computing ,2001 ,27:1523 - 1536.
- [8] Gristea V ,Gdza G. Genetic algorithms and intrinsic parallel characteristics[A]. Proceedings of the IEEE Conference on Evolutionary Computation[C]. La Jolla Marriott ,San Diego ,CA ,USA : IEEE ,July 2000. 431 - 436.
- [9] Sena Giuseppe A ,et al. Implementation of a parallel Genetic Algorithm on a cluster of workstations :Traveling salesman problem ,a case study [J]. Future Generation Computer Systems ,2001 ,17(4) :477 - 488.
- [10] Haluk Topcuoglu ,Salim Hariri ,Mir-You Wu. Performance-effective and low-complexity task scheduling for heterogeneous computing[J]. IEEE Tran On Parallel and Distributed systems ,2002 ,13(3) :260 - 274.
- [11] 都志辉.高性能计算并行编程技术 - MPI 并行程序设计[M].北京 :清华大学出版社 ,2001. 99 - 124.
- [12] 林昌禄.天线工程手册[M].北京 :电子工业出版社 ,2002. 573 - 574.

作者简介 :



陈 星 男,1970 年生于四川省通江县,1999 年和 2004 年在四川大学电子信息学院获硕士、博士学位。现为四川大学电子信息学院副教授,研究方向包括:微波理论、电磁场数值计算和天线工程。



黄卡玛 男,1964 年生于重庆,教授、博士生导师,1991 年电子科技大学获博士学位,2001 年美国 Clemson 大学博士后,中国电子学会理事、会士,IEEE 高级会员,国家杰出青年基金获得者,教育部跨世纪优秀人才、享受政府津贴专家,近年来主要从事电磁场仿真、微波生物医学工程和微波化学和电磁兼容方面工作。