

求解 TSP 问题的遗传算法硬件实现

杨 益, 方潜生, 高翠云

(安徽建筑工业学院 电子与信息工程学院, 安徽 合肥 230601)

摘要:旅行商问题(TSP)是一个经典的、易于描述却难以处理的组合优化问题,被证明属于 NP 完全问题,在实际中有着广泛的应用,因此快速、有效地解决 TSP 问题有着重要的实际应用价值。遗传算法是一种模拟生物进化启发式全局优化搜索算法,在组合优化领域得到了相当广泛的研究。文中根据硬件的特点,用遗传算法来求解 TSP 问题,并用 Handel-C 语言对算法进行编程,最终在 FPGA 上实现对 TSP 问题的求解,真正做到了用软件的方法来设计硬件,有效地缩短了系统实时响应周期,提高了系统的可靠性,为设计高速运行的复杂算法提供了可能。

关键词:旅行商问题;硬件实现;遗传算法;Handel-C 语言;现场可编程门阵列

中图分类号: TP18

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2009)04-0054-03

Implementation of Hardware Based on Genetic Algorithm for Solving TSP Problem

YANG Yi, FANG Qian-sheng, GAO Cui-yun

(School of Electronic and Information Engineering, Anhui University of Architecture, Hefei 230601, China)

Abstract: Traveling Salesman Problem(TSP) is a kind of classical combination optimal problem that is easy to be described but difficult to be solved. It belongs to NP-complete problem and is applied broadly in practice. Thus rapid and effective solving TSP problem is very important application value in practice. Genetic Algorithm(GA) is a kind of heuristic global optimization searching algorithm that simulates the biology evolutionary system. GA is applied quite broadly to the combination optimization domain. According to the attribute of hardware, TSP problem is solved based on GA for which Handel-C language can program in this paper. Eventually, the implementation of FPGA can solve TSP problem in effect. The design can use the method of software to design hardware in deed that can shorten real time responding period of the system in effect and improve reliability of the system. The design method of the paper provides a kind of possibility in order to design the complex algorithm of high speed running.

Key words: traveling salesman problem; hardware implementation; genetic algorithm; Handel-C language; field programmable gate array

0 引言

旅行商问题(Traveling Salesman Problem, TSP)也称货郎担问题是一个典型的、易于描述却难以处理的组合优化问题,并且是一个经典的 NP 完全问题^[1]。它是指:已知 N 个城市之间的相互距离,现有一个旅行商从某一城市出发,环游所有城市后回到原出发地,且每个城市只能经过一次,要求找出一条最短路线。其可能的路径总的回路数与城市数目 N 是成指数型增长的,很容易出现“组合爆炸”,难以求出最优精确解,目前研究者大多采用启发式优化算法进行近似求解。

TSP 问题在实际中有很多典型的应用,如可以解决连锁店的货物配送路线、分配问题、车辆调度问题、切割问题等。因此快速、有效地解决 TSP 问题有着重要的实际应用价值。

遗传算法(Genetic Algorithm, GA)是一类借鉴生物界自然选择和自然遗传机制的随机化搜索算法^[2],其主要特点是群体搜索策略和群体中个体之间的信息交换,搜索不依赖于梯度信息。就其本质来说,主要是适用处理传统搜索方法难以解决的复杂问题和非线性问题的一种鲁棒性强的启发式随机搜索方法,在组合优化领域得到了相当广泛的研究。因此遗传算法在 TSP 问题求解方面的应用研究,对于构造合适的遗传算法框架、建立有效地遗传操作以及有效地解决 TSP 问题等有着多方面的重要意义。

目前大多数研究者采用高级语言来描述遗传算法对 TSP 问题进行求解,这些软件设计方法一般难以解

收稿日期:2008-07-30

基金项目:2008 年建设部科技计划项目(2008-K6-25);安徽省 2007 年度科技攻关计划项目(07010202056)

作者简介:杨 益(1978-),男,安徽安庆人,硕士,研究方向为计算智能和 EDA 技术等。

决现在越来越多的领域需要高速运行复杂的系统,而硬件设计的方法能有效地解决这一瓶颈问题,并且 EDA(Electronic Design Automation)技术可以通过设计硬件芯片来实现各种不同系统的功能,即用软件的方法来设计硬件。FPGA(Field Programmable Gate Array)具有静态可重复编程和动态在系统重构的特性,可根据需要的硬件功能对程序进行重复编程和对 FPGA 内部的逻辑模块在线重新配置,使得硬件的功能可以像软件一样通过编程来修改,具有极强的设计灵活性。因此文中采用遗传算法来解决 TSP 问题,并用 Handel-C 语言对其进行描述,对 FPGA 进行动态重构配置,用硬件实现对 TSP 问题的求解。

1 Handel-C 语言

随着 EDA 技术的发展,使用硬件描述语言(Hardware Description Language, HDL)设计 FPGA 是目前最主要的设计方法,而 VHDL(Very High Speed Integrated Circuit HDL)是应用最广泛的硬件描述语言之一^[3]。VHDL 主要用于描述数字系统的结构、行为、功能和接口。但对于一些复杂算法的描述,将是一个极富挑战性的和非常耗时的过程,甚至难以解决这些复杂算法的 FPGA 设计。为了把设计者从复杂的硬件描述语言中解脱出来,Celoxica 公司专门开发了高级编程语言 Handel-C 及对应的开发套件 DK。

Handel-C 是一种起源于 ISO/ANSI-C 的语言^[4],它为了支持硬件设计而加入了附带的一些特征,包括可预知的定时和确定的并发功能。它与 ISO/ANSI-C 兼容,但它提供了并行处理的额外声明以及在并行程序间通信的结构——通道(Channel)。它还提供灵活的数据宽度、通用的内存体系结构(RAM, ROM)和外部硬件接口(Interface)。

对于以 ISO/ANSI-C 为基础的程序设计语言 Handel-C,可利用 Celoxica DK 设计工具将 Handel-C 的源代码编译成能直接针对 FPGA 目标的网表(Netlist)^[5],而无需 VHDL/Verilog 的中间步骤,最后利用 FPGA 布线工具可以直接将 Netlist 下载配制到 FPGA 上。

2 遗传算法设计

文中采用遗传算法来解决 TSP 问题,并将算法硬化在 FPGA 上实现求解 TSP 问题,因此遗传算法设计要满足适合硬件实现要求。

2.1 染色体编码

染色体编码采用二进制编码,用二进制数对每个城市进行相应编号,每个城市二进制数编号的位数是

由具体城市的数目来决定,如城市的数目为 100 时,每个城市需要 7 位二进制进行相应编号。

2.2 伪随机数发生器

为了使伪随机数发生器设计结构简单,易于硬件实现,而且使其所产生的伪随机序列具有周期长、随机特性好的特点,文中采用基于原胞自动机(Cellular Automata, CA)结构来设计伪随机数发生器。利用 CA 设计的伪随机数发生器产生的伪随机数过程如下:第一步任意写出一个规定长度的初始数(一般取经验值),即通常所说的伪随机数“种子”。第二步按照相应的规则查找表(或等价的逻辑函数)产生下一代伪随机数。第三步把产生的伪随机数作为下一代伪随机数“种子”(即作为父代),重复第二步^[6]。

2.3 初始群体及群体规模

利用伪随机数发生器产生的随机二进制数序列作为旅行商经过每个城市的编号,因为每个城市只能经过一次,所以每个城市编号的二进制数序列不能重复,且二进制数值应该在编号范围内。旅行商环游所有城市后回到原出发地,即一个染色体随机由所有城市的编号组成。文中编程采用 Moving[popsizel][length]二维数组来保存群体,其中 length 表示城市的数目,popsize 表示群体规模,即路径的回路数。

2.4 适应度函数

适应度函数是评价个体好坏的标准,根据求解 TSP 问题的要求,适应度函数 $F(x)$ 为: $F(x) = \sum_{i=1}^{n-1} d(C_i, C_{i+1}) + d(C_1, C_n)$,其中 $d(i, j)$ 表示第 i 个城市与第 j 个城市之间的距离^[7,8]。城市之间的相互距离也是由伪随机数发生器产生的随机二进制数序列提供,文中编程采用 City[length][length]二维数组来保存城市之间的相互距离,其中 length 也是表示城市的数目。利用适应度函数来计算群体中每个个体按其次序环游所有城市后回到原出发地的路径之和,每个个体适应度函数值的大小体现了相应回路路径的长短,所以适应度函数值越小越好。

2.5 遗传操作

遗传操作是模拟生物基因遗传的操作,是连接父代与子代的中间过程。通过遗传操作使父代与子代之间,以及子代的个体之间,在性状上存在着相似现象,但也或多或少地存在着差异现象,从而使子代适应新的环境而不断地向前发展。从优化搜索的角度而言,遗传操作可使问题的解,一代又一代地优化,并逼近最优解。

2.5.1 选择算子

由于传统的比例选择运算占用硬件资源比较大,

不易在硬件上实现,因此文中在运用最优保存策略的基础上采用随机联赛选择算子。最优保存策略是将当前迄今为止的群体中适应度最好的个体不参与交叉运算和变异运算,而是用它来替换掉本代群体中经过交叉、变异等遗传操作后所产生的适应度最低的个体。该策略的实施可保证迄今为止所得到的最优个体不会被交叉、变异等遗传运算所破坏,它是遗传算法收敛性的一个重要保证条件。但另一方面,它也容易使得某个局部最优个体不易被淘汰掉反而快速扩散,从而使算法的全局搜索能力不强。为了弥补最优保存策略的缺陷,选择算子又采用了随机联赛选择算子,其基本思想:每次从群体中随机选取 N 个个体进行适应度大小的比较,将其中适应度最好的个体遗传到下一代群体中,并重复 M 次,这样就可得到由 M 个个体构成下一代群体。文中每次随机从群体中选取 2 个个体。

2.5.2 交叉算子

交叉算子采用类似顺序交叉法(OX),现以一示例来介绍交叉算子,如图 1 所示。先从群体中随机选取两个个体 A、B,再随机产生一个交叉点,定义这个交叉点之前的区域为一匹配区域,用两个一维数组 AA[], BB[] 分别保存 A、B 匹配区域的城市编号,使 A、B 中的匹配区域彼此交换插入在各自个体的前面,从而得到两个新的个体 A'、B',并将 A'、B' 匹配区域以外的重复城市编号一一删除,这样就得到最终的两个子串 A''、B''。

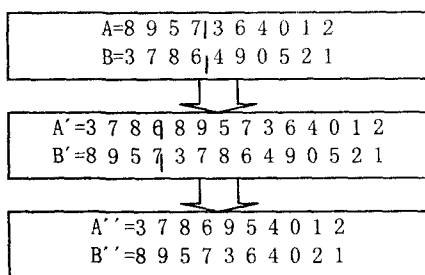


图 1 交叉算子操作过程

2.5.3 变异算子

文中变异算子采用对换变异方法,即从群体中随机选取一个个体,再随机产生两个对换点,并把对换点前的单个城市编号对换彼此的位置,从而形成新的个体。这种变异操作对个体绝对位置所呈现的“模式”变化影响较小,而且所需的运算简单,能有效地提高硬件资源的利用率。

2.6 终止条件

由于采用遗传算法来求解 TSP 问题是启发式近似求解,所以文中将最优解连续 50 代不发生变化作为进化终止条件。

3 求解 TSP 问题算法流程

求解 TSP 问题算法流程如图 2 所示。

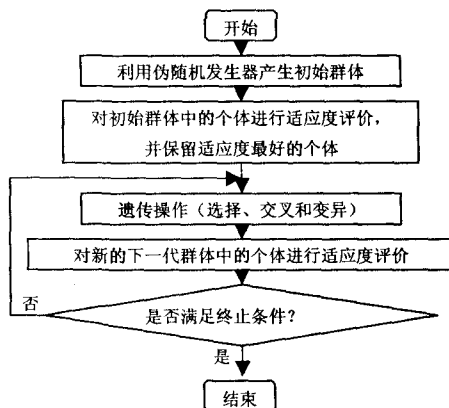


图 2 求解 TSP 问题算法流程图

4 仿真实验

本次仿真实验取 16 个城市,每个城市间的距离用伪随机发生器产生 8 位二进制随机序列来表示,求解 TSP 问题最优解进化仿真图如图 3 所示,其中 X 轴表示进化代数, Y 轴表示每一代的最优解,即回路的最短路径。

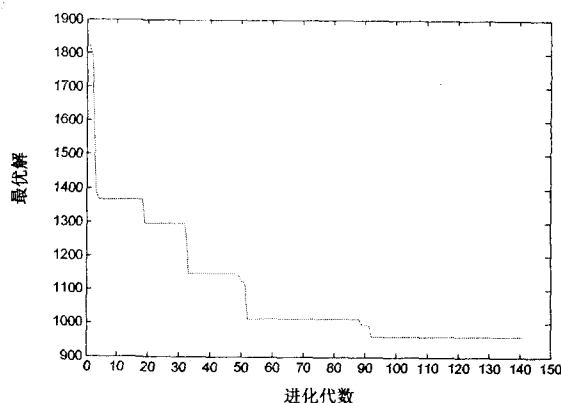


图 3 求解 TSP 问题最优解进化仿真图

5 硬件实现

软件程序在 Celoxica DK 开发环境中调试、仿真成功后,需要对程序中的时钟频率进行设置和外部硬件接口进行定义。在设置时钟频率时,程序的时钟周期一定要大于每个任务的总逻辑时延^[9],也就是说 Handel-C 源程序中的时钟周期要比每个任务的总逻辑时延要长,否则 FPGA 中的时序将会变得混乱,不能实现正确的系统功能。由于要将程序进化的每一代数、最优解和相应环游所有城市编号在数码管上显示,需要将这些二进制转换成 BCD 码,为了提高 FPGA 硬件资源利用率,因此文中程序采用移位运算来进行转换。

(下转第 60 页)

表 1 两个虹膜之间的海明距离

同一虹膜的 Hamming 距离	不同虹膜的 Hamming 距离
0.1671	0.4427
0.1967	0.4240
0.1868	0.3650
0.1844	0.4289
0.1721	0.3685
0.1873	0.4324
0.1809	0.3899
0.1823	0.4140
0.1991	0.3987
0.1745	0.4862

幅不同个体的虹膜图像进行实验,求得海明距的结果。

同一虹膜的 Hamming 距离的平均值为 0.1831,不同虹膜的 Hamming 距离平均值为 0.4150,二者有明显的差异。

6 结束语

文中介绍了基于线段提取的虹膜归一化方法,并跟 Daugman 的橡皮纸模型进行了比较。实验表明:基于线段提取的虹膜归一化方法比较直观,容易理解,并且只有一种分析模型,简化了算法。在 20 个虹膜样本的实验中,识别率可以达 95.8%,这一点跟采用

Daugman 的橡皮纸模型相差无几。

参考文献:

- [1] Miller. Vital signs of identity[J]. IEEE pectrum, 1994, 31: 22 - 30.
- [2] 吴教育,曾东海. 基于指纹识别的网络身份认证系统[J]. 计算机技术与发展, 2007, 17(1): 170 - 171.
- [3] 严民军,汪云九. 虹膜的计算机识别原理[J]. 生物化学与生物物理进展, 2000, 27(4): 348 - 350.
- [4] 朱 勇. 基于生物特征的身份鉴别研究[D]. 北京:中科院自动化研究所, 2000.
- [5] Daugman J G. High confidence visual identification of person by a test of statistical independence[J]. IEEE Trans Pattern Anal Machine Intell, 1993, 15(11): 1148 - 1161.
- [6] Daugman J G. Biometrical Personal Identification System Based on Iris Analysis[P]. US: Patent 5291560, 1994.
- [7] 何家峰,廖曙铮,叶虎年,等. 虹膜定位[J]. 中国图象图形学报, 2000, 5(3): 252 - 255.
- [8] 宫雅卓,谭南虹,施鹏飞. 虹膜纹理归一化的圆心偏差校正算法[J]. 上海交通大学学报, 2004, 38(4): 578 - 582.
- [9] 王蕴红,朱 勇,谭铁牛. 基于虹膜识别的身份鉴别[J]. 自动化学报, 2002, 28(1): 1 - 10.
- [10] 李翔荣. 虹膜识别算法的研究和实现[D]. 成都:电子科技大学, 2006.

(上接第 56 页)

为了减少定义硬件接口,外部硬件在数码管前端设计了 74LS248 芯片,它能把 BCD 码译成数码管的具体码段,从而实现正确显示。因为代数、最优解和城市编号分别需要 3 个、4 个和 2 个数码管,这样外部硬件接口可由 63 个减少到 36 个。硬件实现流程框图如图 4。

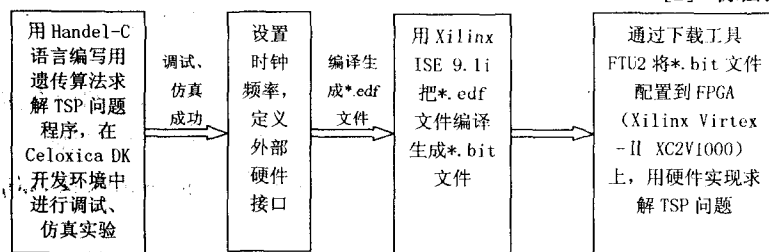


图 4 硬件实现流程框图

6 结束语

遗传算法是模拟生物进化过程的计算模型,是一种鲁棒性强的启发式全局优化搜索算法,主要适用处理传统搜索方法难以解决的复杂问题、非线性问题和并行处理问题,在组合优化领域得到广泛的研究。文中利用遗传算法来求解 TSP 问题,采用 Handel-C 语言编程,在 FPGA 上实现了对 TSP 问题的求解,有效

地缩短了系统运行周期,提高了系统的实时响应能力。

参考文献:

- [1] 王宇平,李英华. 求解 TSP 的量子遗传算法[J]. 计算机学报, 2007, 30(5): 748 - 755.
- [2] 陈国良,庄镇泉,王煦法,等. 遗传算法及其应用[M]. 北京:人民邮电出版社, 1996.
- [3] 杨 益,方潜生. 基于 Handel-C 语言的 FPGA 设计[J]. 微机发展(现更名:计算机技术与发展), 2004, 14(12): 99 - 102.
- [4] Handel-C Language Reference Manual[S]. [s.l.]: Celoxica, 2003.
- [5] DK Design Suite User Manual[S]. [s.l.]: Celoxica, 2003.
- [6] 杨 益,方潜生. 基于 Handel-C 的伪随机数发生器的设计与实现[J]. 计算机技术与发展, 2006, 16(12): 124 - 126.
- [7] 蒋亚平,李 涛,梁 刚,等. 一种基于免疫原理求解 TSP 问题的模型[J]. 计算机工程, 2006, 32(15): 165 - 167.
- [8] 杨 辉,康立山,陈毓屏. 一种基于构建基因库求解 TSP 问题的遗传算法[J]. 计算机学报, 2003, 26(12): 1753 - 1758.
- [9] 杨 益,方潜生,汪力君. 基于 Handel-C 的硬件优化设计[J]. 安徽建筑工业学院学报, 2005, 13(6): 56 - 58.