

CMG 机构的优化编码程序开发*

潘华璞^{1,2}, 高 杨¹

(1. 中国工程物理研究院 电子工程研究所, 四川 绵阳 621900; 2. 北京大学 物理学院, 北京 100871)

摘 要: CMG 机构是一种密码鉴别机构, 齿牙编码是其核心设计问题。应用贪婪算法求解 CMG 机构优化编码的顶点着色问题, 具有时间复杂度低、易于编程的优点, 在大多数情况下可满足应用需求。基于这一思路, 采用 Visual Basic 编写了一个用户界面友好的 CMG 机构优化编码程序。该程序包括两个功能定义清晰的模块, 即编码模块和校验模块, 可自动求解、校验优化编码。

关键词: 机构学; CMG 机构; 顶点着色问题; 贪婪算法; Visual Basic

中图法分类号: TH112; TP309 文献标识码: A 文章编号: 1001-3695(2006)05-0180-02

Development of Optimized Coding Program for Counter-Meshing Gears Mechanism

PAN Hua-pu^{1,2}, GAO Yang¹

(1. Institute of Electronic Engineering, China Academy of Engineering Physics, Mianyang Sichuan 621900, China; 2. College of Physics, Peking University, Beijing 100871, China)

Abstract: Counter-Meshing Gears (CMG) mechanism is a discrimination mechanism, teeth coding is its primary design question. It is with very low time complexity and easy to program by applying greedy algorithm to solve the vertex-coloring problem brought forward by CMG optimized coding application, and in most situations, teeth coding results with minimum gear levels can be obtained. With such an idea, a teeth-coding program is developed in Visual Basic. The program has two well-defined functional modules, coding one and verification one, all with friendly user interfaces, to automatically work out the optimized teeth-code and verifying it.

Key words: Mechanics Element; Counter-meshing Gears Mechanism; Vertex Coloring Problem; Greedy Algorithm; Visual Basic

CMG(Counter-Meshing Gears) 机构是一种密码鉴别机构, 文献[1, 2] 报道的两种引信安全装置均采用 CMG 机构作为密码鉴别器。根据指定的解锁密码(解锁符号序列) 设计 CMG 机构多层耦合密码齿轮的齿牙编码是其核心设计问题。CMG 机构的优化编码是指其齿牙编码不但应满足“误码锁定”的功能要求, 还应使密码齿轮的层数最小, 以便加工、装配, 并利于开发锁装置或配套的驱动器。

CMG 机构的优化编码问题可转换为无环、无重边的无向简单图 $G(V, E)$ 的 k -顶点着色问题(Vertex Coloring Problem) ^[3,4]。但 k -顶点着色是图论中著名的 NP 完全问题, 穷举法的时间复杂度高达 $O(m^n)$ (m 表示染色数, n 表示顶点数)。例如, 对于一个 24 字长的解锁密码, 因为误码立即锁定的功能要求, 必有 24 个“关键陷阱格点(Critical Trap Grid, CTG) ”^[3,4], 即 $n=24$ 。文献[5] 已证明, 对于任意 CMG 机构, 密码齿轮层数至少为 3; 因此, 即便在最佳情况下, 计算次数的数量级也高达 3^{24} 。

权衡计算的时间复杂度与优化设计目标, 本文应用贪婪算法求解 CMG 机构优化编码中的顶点着色问题, 具有时间复杂度低、易于编程的优点, 在大多数情况下可满足应用需求。

基于这一思路, 采用 Visual Basic 编写了一个用户界面友好的 CMG 机构优化编码程序。该程序包括两个定义清晰的功能模块, 即编码模块和校验模块, 实现了只需输入解锁密码, 即可自动绘出二维迷宫映射图^[3], 求解、绘制密码齿轮编码示意图, 并以 TXT 文件输出设计结果。程序还具有验证任意编码与解锁密码是否“锁-钥匹配”的功能。

1 算法设计

贪婪算法的基本思想是把优化问题分解后逐步求解, 根据某个优化测度(不一定是目标函数), 保证每一步均能获得最优解, 最后再把每步得到的局部最优解组合起来得到全局最优解。贪婪算法存在的问题是, 组合局部最优解未必总能得到全局最优解; 但往往能够求出符合实际应用要求的满意解, 且时间复杂度低、易于编程。

适用贪婪算法求解的问题, 一般特征是有 n 个输入及一组约束条件, 其可行解是满足约束条件的所有 n 个输入的子集。

在 CMG 机构优化编码问题中, 输入是解锁密码, 约束条件是文献[4] 所描述的“关键陷阱格点”互斥的“十字叉”判据,

收稿日期: 2005-02-20; 修返日期: 2005-04-22
基金项目: 武器装备预研共用技术项目(41305010301); 武器装备预研基金资助项目(514050401); 国防科技重点实验室基金资助项目(51485030404)

即对于任意一个关键路径格点(Critical Route Grid, CRG), $CRG(i, j)$, $CTG(i, *)$ 与 $CTG(*, j)$ 必然互斥, 也即 $CTG(i, *)$ 与 $CTG(*, j)$ 不可能由同一层密码齿轮的齿牙干涉形成。

首先, 按照文献[4] 提出的方法, 映射、变换后得到表示全部 CTG 间互斥关系的无向图 $G(V, E)$, 用邻接矩阵保存, 并对全部 CTG 按照其对应的密码字符顺序依次编号; 然后应用贪婪算法求解 k -顶点着色的较优解。算法流程概要如图 1 所示。

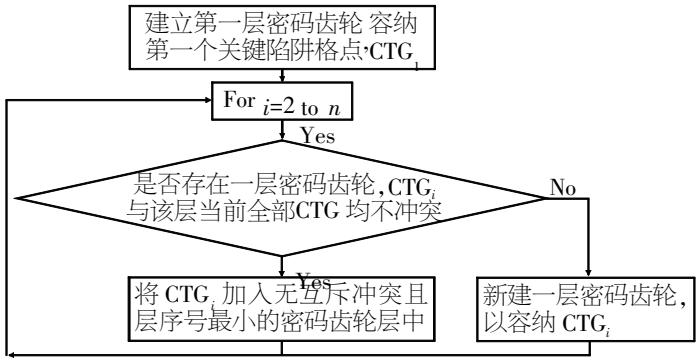


图 1 贪婪算法流程简图

该算法将问题的求解按照 CTG 个数分为 n 步, 将密码齿轮层数(染色数) 最小作为优化测度, 力图在每步均获得局部最优解, 即每加入一个新的 CTG, 都要尽量将该 CTG 安排在已有的密码齿轮层中。仅当该 CTG 与当前各密码齿轮层皆不相容时, 才新建一层密码齿轮(新的染色) 容纳该 CTG。这样, 每步添加一个新的 CTG 后均能得到局部最优解。由于该算法求解仅需一个循环, 而安排一个 CTG 的时间复杂度是 $O(1)$, 因此总时间复杂度仅为 $O(n)$, 较文献[6] 中基于团划分数的聚类算法, 时间复杂度大为降低。

实际应用该算法, 发现大多数情况下均可获得 CMG 机构的最优编码; 即便不能获得最优解, 也往往能够获得令人满意的较优解。这一现象的深刻原因可能是: 在 CMG 机构的优化编码问题中, 表示全部 CTG 互斥关系的图 $G(V, E)$ 是由“交叉”判据建立的, 有一定规律可循, 而非任意图。

2 程序开发

基于上述算法, 采用 Visual Basic 编写了 CMG 机构的齿牙设计程序 CMG Coder v1.0。程序功能定义及简要流程如图 2 所示。

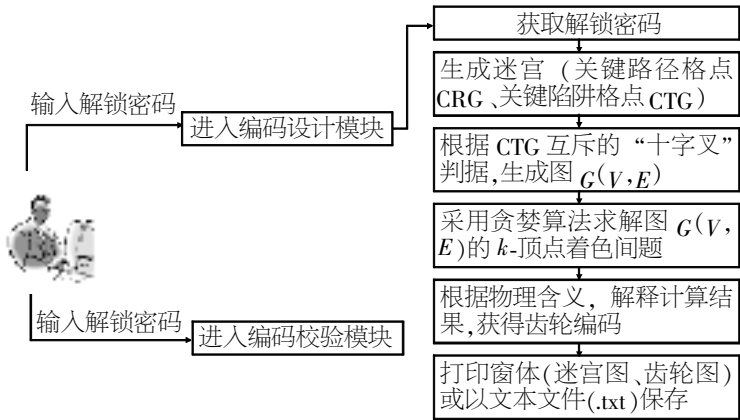


图 2 程序功能定义及简要处理流程图

编码模块用户界面如图 3 所示。在窗体的文本框中输入由字母 A, B 组成的解锁符号序列后, 点击“求解”命令按钮, 将在左下方图片框中自动生成仅包含 CRG 和 CTG、满足误码立即锁定功能的迷宫设计图。属于不同密码齿轮层的 CTG, 采用不同的染色表示, 并在该 CTG 方格中以对应的颜色序号表示。

同时, 将在右下方图片框中自动生成齿轮编码示意图, 采用有色直线表示密码齿轮中某个分度“有齿”, 采用虚线表示密码齿轮中某个分度“空置”。选择“File”菜单中的“Save Gear As Text”选项, 可以按照文献[3] 中表 1 所示的“CMG 机构实例的齿牙二值装定表”格式, 以 TXT 文件保存密码齿轮的齿牙编码。选择“File”菜单中的“Print the Form”选项, 可以输出图 3 所示的用户界面和编码结果。

该程序还具有齿轮编码结果校验的功能。将密码齿轮编码按照文献[3] 中表 1 所示的“CMG 机构实例的齿牙二值装定表”格式, 以 TXT 文件保存, 选择“File”菜单中的“Check a Design”选项, 可以自动执行“锁 - 钥匹配”的校验运算。校验模块用户界面如图 4 所示。

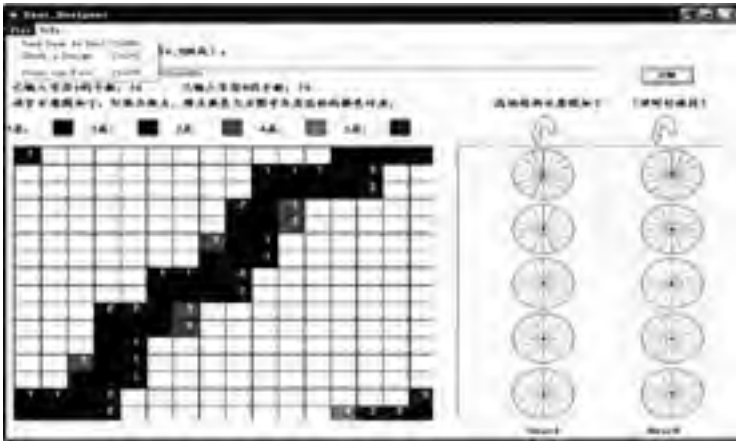


图 3 编码模块用户界面



图 4 校验模块用户界面

3 结论

(1) 提出了一种应用贪婪算法求解 CMG 机构优化编码的顶点着色问题的思路。实际应用证明, 该算法可满足工程应用的优化要求, 具有时间复杂度低、易于编程的优点。

(2) 基于这一方法, 采用 Visual Basic 编写了一个用户界面友好的 CMG 机构优化编码程序。程序包括编码模块和校验模块两个定义清晰的功能模块, 可自动求解、校验优化编码。

参考文献:

[1] Eugene W Kenderdine. An Unidirectional Rotary Solenoid as Applied to Stronglink[R] . SAND-88-2442C, 1988.

[2] Marc A Polosky, Ernest J Carcia, James J Allen. Surface Micromachined Counter-meshing Gears Discrimination Devices[R] . SAND-98-0256C, 1998.

[3] 高杨, 陈勋, 赵小林, 等. 抗干涉齿轮集机构的二维迷宫映射校验方法[J] . 兵工学报, 2004, 25(3) : 280-284.

[4] 高杨. CMG 机构的优化编码方法[J] . 兵工学报.

[5] 高杨, 陈勋, 苏伟. 逐位鉴别单次试开锁机构及其解锁码装定方法[P] . 中国: 03105735. 7. 2003. 6.

[6] 曾高荣, 高杨, 胡莉. 一种基于团划分数的聚类算法[J] . 计算机应用研究, 2004, 21(增刊) : 143-144.