

**课程设计报告**

**题目：基于SAT的二进制数独游戏求解程序**

**课程名称：程序设计综合课程设计**

**专业班级：**

**学 号：**

**姓 名：**

**指导教师：**

**报告日期：**

**计算机科学与技术学院**

**任务书**

**设计内容**

SAT问题即命题逻辑公式的可满足性问题（satisfiability problem），是计算机科学与人工智能基本问题，是一个典型的NP完全问题，可广泛应用于许多实际问题如硬件设计、安全协议验证等，具有重要理论意义与应用价值。本设计要求基于DPLL算法实现一个完备SAT求解器，对输入的CNF范式算例文件，解析并建立其内部表示；精心设计问题中变元、文字、子句、公式等有效的物理存储结构以及一定的分支变元处理策略，使求解器具有优化的执行性能；对一定规模的算例能有效求解，输出与文件保存求解结果，统计求解时间。

**设计要求**

要求具有如下功能：

1. **输入输出功能：**包括程序执行参数的输入，SAT算例cnf文件的读取，执行结果的输出与文件保存等。(15%)
2. **公式解析与验证：**读取cnf算例文件，解析文件，基于一定的物理结构，建立公式的内部表示；并实现对解析正确性的验证功能，即遍历内部结构逐行输出与显示每个子句，与输入算例对比可人工判断解析功能的正确性。数据结构的设计可参考文献[1-3]。(15%)
3. **DPLL过程：**基于DPLL算法框架，实现SAT算例的求解。(35%)
4. **时间性能的测量：**基于相应的时间处理函数（参考time.h），记录DPLL过程执行时间（以毫秒为单位），并作为输出信息的一部分。(5%)
5. **程序优化：**对基本DPLL的实现进行存储结构、分支变元选取策略[1-3]等某一方面进行优化设计与实现，提供较明确的性能优化率结果。优化率的计算公式为：[(t-to)/t]\*100%,其中t 为未对DPLL优化时求解基准算例的执行时间，to则为优化DPLL实现时求解同一算例的执行时间。(15%)
6. **SAT应用：**将二进制数独游戏[5，6]问题转化为SAT问题[6]，并集成到上面的求解器进行问题求解，游戏可玩，具有一定的/简单的交互性。应用问题归约为SAT问题的具体方法可参考文献[3]与[6-9]。(15%)

**参考文献**

[1] 张健著. 逻辑公式的可满足性判定—方法、工具及应用. 科学出版社，2000

[2]TanbirAhmed.An Implementation of the DPLL Algorithm.Masterthesis,Concordia University,Canada,2009

[3] 陈稳. 基于DPLL的SAT算法的研究与应用.硕士学位论文，电子科技大学，2011

[4]CarstenSinz.Visualizing SAT Instances and Runsof the DPLL Algorithm.JAutom Reasoning (2007) 39:219–243

[5] Binary Puzzle：<http://www.binarypuzzle.com/>

[6] Putranto H. Utomo and Rusydi H. Makarim. Solving a Binary Puzzle. Mathematics in Computer Science,(2017) 11:515–526

[7] Tjark Weber. A sat-based sudoku solver. In 12th International Conference on Logic forProgramming, Artificial Intelligence and Reasoning, LPAR 2005, pages 11–15, 2005.

[8]InsLynce and JolOuaknine. Sudoku as a sat problem.In Proceedings of the 9th InternationalSymposium on Artificial Intelligence and Mathematics, AIMATH 2006, Fort Lauderdale.Springer,2006.

[9] Uwe Pfeiffer, Tomas Karnagel and Guido Scheffler.A Sudoku-Solver for Large Puzzles using SAT. LPAR-17-short (EPiC Series, vol. 13), 52–57

[10] Sudoku Puzzles Generating: from Easy to Evil.

http://zhangroup.aporc.org/images/files/Paper\_3485.pdf

**目录**

[1引言 1](#_Toc66298969)

[1.1课题背景与意义 1](#_Toc66298970)

[1.1.1×××××× 1](#_Toc66298971)

[1.1.2×××××× 1](#_Toc66298972)

[1.2国内外研究现状 1](#_Toc66298973)

[1.3课程设计的主要研究工作 1](#_Toc66298974)

[2系统需求分析与总体设计 2](#_Toc66298975)

[2.1系统需求分析 2](#_Toc66298976)

[2.2系统总体设计 2](#_Toc66298977)

[3系统详细设计 4](#_Toc66298978)

[3.1有关数据结构的定义 4](#_Toc66298979)

[3.2主要算法设计 4](#_Toc66298980)

[4系统实现与测试 5](#_Toc66298981)

[4.1系统实现 5](#_Toc66298982)

[4.2系统测试 5](#_Toc66298983)

[5总结与展望 6](#_Toc66298984)

[5.1全文总结 6](#_Toc66298985)

[5.1工作展望 6](#_Toc66298986)

[6体会 7](#_Toc66298987)

[参考文献 8](#_Toc66298988)

[附录 9](#_Toc66298989)

1引言

# 1.1课题背景与意义

SAT问题即命题逻辑公式的可满足性问题（satisfiability problem），是计算机科学与人工智能基本问题，是一个典型的NP完全问题，可广泛应用于许多实际问题如硬件设计、安全协议验证等，具有重要理论意义与应用价值。SAT问题也是程序设计与竞赛的经典问题。

# 1.1.1 SAT问题简介

SAT的问题被证明是NP难解的问题。已知的NP-complete问题多达几百个，但作为这些问题的“祖先”，历史上第一个被证明的NP-complete问题是来自于布尔逻辑的可满足性问题（SATISFIABLITY problem），简称为SAT。

SAT问题是逻辑学的一个基本问题，也是当今计算机科学和人工智能研究的核心问题。工程技术、军事、工商管理、交通运输及自然科学研究中的许多重要问题，如程控电话的自动交换、大型数据库的维护、大规模集成电路的自动布线、软件自动开发、机器人动作规划等，都可转化成SAT问题。因此致力于寻找求解SAT问题的快速而有效的算法，不仅在理论研究上而且在许多应用领域都具有极其重要的意义。

SAT 问题在人工智能领域的重要地位，使得许多学者都在 SAT 问题求解领域做了大量的研究，可满足性问题进而也成为了国内外研究的热点问题，并在算法研究和技术实现上取得了较大的突破，这也推动了形式验证和人工智能等领域的发展。在SAT 求解器被越来越多地应用到各种实际问题领域的今天，探寻解决 SAT 问题的高效算法仍然是一个吸引人并且极具挑战性的研究方向。

# 1.1.2二进制数独游戏简介

普通数独游戏是一种运用纸、笔进行演算的逻辑游戏。玩家需要根据9×9盘面上的已知数字，推理出所有剩余空格的数字，并满足每一行，每一列，每一粗线格内的数字均含1-9，且不能重复。每一道合格的数独谜题都有且仅有唯一的答案，推理方法也以此为基础，任何无解或多解的题目都不合格。

与普通数独游戏（Sudoku）相似，n阶（偶数n=2m≧4）二进制数独游戏（Binary Puzzle）要求在n×n的网格中每个单元（cell）填入一个数字1或0，必须满足约束：（1）在每一行、每一列中不允许有连续的3个1或3个0出现；（2）在每一行、每一列中1与0的个数相同；（3）不存在重复的行与重复的列。

# 1.2国内外研究现状

Bart Selman和Henry Kautz分别于1997年和2003年在人工智能第五届国际合 作会议上提出了 SAT 问题面临的十大挑战性问题，并在2001年和2007年先后 对当时的可满足性问题现状进行了全面的阐述和总结。这十大挑战性问题的提出对于SAT基准问题的理论研究和算法改进都起到了强有力的推动作用。SAT解决器的实现是我们关心的主要问题，目前的SAT算法大致可以归结为两大类：完备算法（也称回溯搜索算法）和局部搜索算法。其中，完备算法大都是基于回溯搜索的，局部搜索算法是基于局部随机搜索的。完备算法基于穷举法思想，它的优点是能保证找到对应SAT问题的解或证明公式不可满足，但是效率 极低，它的平均时间复杂度虽是多项式级的，但是最坏情况下的时间复杂度却是 指数级的。一些完备算法采用了精巧的技术来减小搜索空间和问题规模，提高了 算法的时间效率，相对于完备算法而言，由于采用了启发式策略来指导搜索，使得求解速度相对较快，但是在某些实例上可能得不到解，它不保证一定能够找到对应SAT问题的解，即它不能证明SAT问题的不可满足性。局部搜索算法的研究热潮是在最近几年才兴起的。

最经典的求解SAT问题的完备算法是DPLL算法，它是由Davis和Putnam等人在1960年提出，其它的完备算法大都是在DPLL算法的基础上衍生出来的，对DPLL算法的改进。由于SAT问题本身的特性使得其最坏情况下的时间复杂 度是指数级别，最初这使得许多的研究者望而却步。而后，S.A.Cook 在 1971 年证 明了SAT问题是NP完全问题，这更加削弱了许多学者研究 SAT 问题的兴趣，从而导致了 SAT 问题在很长的一段时间里都没有得到较好的重视，发展非常缓慢，研究成果较少。但是1996年以后，很多国家都相继举办了一些 SAT 竞赛和研讨会，这使得越来越多的人开始关注并研究SAT问题，所以这段时间也涌现出了众多新的高效的SAT算法如MINISAT、SATO、CHAFF、POSIT和 GRASP等，SAT算法的研究成果显著，求解算法也越来越多地应用到了实际问题领域。这些新兴的算法大都是基于DPLL算法的改进算法，改进的方面包括：采用新的数据结构、新的变量决策策略或者新的快速的算法实现方案。国内也涌现出了许多高效的求解算法，如1998年作者梁东敏提出了改进的子句加权 WSAT 算法，2000年金人超和黄文奇提出的并行Solar算法，2002年作者张德富在文献中，提出模拟退火算法。

# 1.3课程设计的主要研究工作

本次课程设计要求精心设计问题中变元、文字、子句、公式等有效的物理存储结构，基于DPLL过程实现一个高效SAT求解器，对于给定的中小规模算例进行求解，输出求解结果，统计求解时间。在此基础上，通过改进算法、使用不同的选择策略或物理存储结构来优化求解过程，使求解器能更快地求解。完成基于此算法的二进制数独游戏，通过将二进制数独归约成SAT问题进行求解。

2系统需求分析与总体设计

# 2.1系统需求分析

本设计要求精心设计问题中变元、文字、子句、公式等有效的物理存储结构，基于DPLL过程实现一个高效SAT求解器，对于给定的中小规模算例进行求解，输出求解结果，统计求解时间。要求具有如下功能：

(1)输入输出功能：包括程序执行参数的输入，SAT算例cnf文件的读取，执行结果的输出与文件保存等。

(2)公式解析与验证：读取cnf算例文件，解析文件，基于一定的物理结构，建立公式的内部表示；并实现对解析正确性的验证功能，即遍历内部结构逐行输出与显示每个子句，与输入算例对比可人工判断解析功能的正确性。

(3)DPLL过程：基于DPLL算法框架，实现SAT算例的求解。

(4)时间性能的测量：基于相应的时间处理函数（参考time.h），记录DPLL过程执行时间（以毫秒为单位），并作为输出信息的一部分。

(5)程序优化：对基本DPLL的实现进行存储结构、分支变元选取策略等某一方面进行优化设计与实现，提供明确的性能优化率结果。优化率的计算公式为：[(t-t0)/t]\*100%,其中t 为未对DPLL优化时求解基准算例的执行时间，t0则为优化DPLL实现时求解同一算例的执行时间。

(6) SAT应用：将二进制数独游戏问题转化为SAT问题，并集成到上面的求解器进行问题求解，游戏可玩，具有一定的交互性。

# 2.2系统总体设计

系统主要由两个模块组成：SAT问题的求解和数独模块

(1)SAT求解模块

包括从CNF表读取CNF范式并用邻接表存储，查看读入的CNF表是否正确，根据未优化变元选择策略的DPLL算法或者优化了变元选择策略的DPLL算法求解SAT问题，计算优化率，以及输出解文件等功能。

(2)数独模块

包括生成数独终局，挖洞法生成数独题面，用户填写数独答案，验证用户答案是否正确，以及输出参考答案等功能。

系统模块结构图如图2-1。

3系统详细设计

# 3.1有关数据结构的定义

这部分要写的：（1）首先描述系统中要处理那些数据，每种类型的数据包括哪些数据项，每个数据项的数据类型，最后可用一个表格表示出来；（2) 描述这多种数据在系统中如何关联，可通过图直观的说明这多种数据间的关联。

# 3.2主要算法设计

这部分主要描述系统中的模块实现的流程，可采用文字配合流程图的方式表示各模块的算法思想及流程。

4系统实现与测试

# 4.1系统实现

这部分应该写的是用户需求，明确你做的系统要实现的目标，能处理一些什么样的事务、事务处理流程等。

这部分可首先叙述一下你的系统实现的软硬件环境；

根据3.1的设计，用C语言定义各种数据类型；

程序代码部分在这里不需要给出来，只需要叙述清楚在系统中包括哪些函数，各函数的说明，如何利用这些函数实现系统各模块的功能，以及函数间的调用关系（可用图表示出来）。程序详见附录。

# 4.2系统测试

首先叙述一下常用的软件测试方法，在选择几个主要的功能模块（自行掌握数量，关键要体现你的水平的一些模块）描述测试过程，（1）先明确模块的功能、设计目标等。（2）分析、叙述如何选取测试数据，要求有完整的测试大纲。（3）运行结果（这时可用截图）。（4）分析运行结果、确认程序满足该模块的设计目标。

5总结与展望

# 5.1全文总结

对自己的工作做个总结，主要工作如下：

（1）对。

（2）。

（3）

。

# 5.1工作展望

在今后的研究中，围绕着如下几个方面开展工作。。。。。。。。

（1）。

（2）

6体会

这部分就自由发挥了。

参考文献

[1]王静康,张凤宝,夏淑倩等.论化工本科专业国际认证与国内认证的“实质性”.高等工程教育研究,2014,5:1-4

[2]Stone J A, Howard L P. A simple technique for observing periodic nonlinearities in Michelson interferometers. Precision Engineering,1998,22(4):220-232

[3]朱印红,袁衍明.Dreamweaver完美网页设计——技术入门篇.(第一版).北京:中国电力出版社,2006:19～20

[4]Lewis S L. Physics and chemistry of the solar system.北京:北京大学出版社,2014.1～2

[5]陈剑.上博简《民之父母》“而得既塞於四海矣”句解释[EB/OL］.简帛研究网站，http://www.bamboosilk.org/Wssf/2003/chenjian03.htm．2003-01-18

附录

×××××××××××××××××××××××××××

( 宋体小4号)

……

……

……