

MiniSAT 求解器在判定可满足性问题中的应用

曾维鹏, 蔡莉莎, 吴恒玉, 林尔敏
(海南软件职业技术学院, 海南 琼海 571400)

摘要: 目前布尔逻辑已成为计算机科学的重要理论基础之一, 是研究人类思维规律的重要工具。可满足性问题是典型的 NP 问题, SAT 求解器的开发使得判定可满足性问题更加自动化。以与门电路为例, 描述了如何将电路问题转换成可满足性 SAT 问题并使用 MiniSAT 求解器进行求解, 包括输入格式、选项以及输出格式要求。

关键词: MiniSAT 求解器; 可满足性; 合取范式

中图分类号: TP302

文献标识码: A

文章编号: 1009—7600 (2013) 07—0073—02

Application of MiniSAT Slover for Judging Satisfactory

ZENG Wei-peng, CAI Li-sha, WU Heng-yu, LIN Er-min
(Hainan College of Software Technology, Qionghai 571400, China)

Abstract: Boolean logic has become one of the important theoretical bases in computer science. It is an important tool for studying human thinking in law. Satisfactory problem is typical NP problem. The development of SAT solver makes the judgment of satisfactory problem automation. Taking AND circuit as an example, this paper describes how to transform circuit problem into satisfactory SAT problem, and how to use MiniSAT solver to solve, including input format, option and output format.

Key words: MiniSAT solver; satisfactory; conjunctive normal form

SAT 可满足性问题是计算机理论与应用的核心问题。在现实世界中, 许多难以解决且重要的组合问题和验证问题均可转换成可满足性问题, 因此对此问题的研究有重要的理论及实践价值^[1]。SAT 问题是第一个 NP 完全问题, 如果算法不正确, 则需要耗费大量的时间^[2]。但是近几年由于许多优秀 SAT 求解器如 MinSat 的开发且不断地得到广泛的应用与改进, 使得 SAT 求解问题可以完全自动化。每年一度的国际 SAT 竞赛促使 SAT 求解器的效率不断提高。SAT 问题的求解, 对模型诊断、自动规划、电路优化、电路综合等方面有着重要的研究意义。

MiniSAT 是简约的求解器, 开源的布尔可满足问题求解器。给 SAT 求解器一个逻辑命题, 包含与或非逻辑符号以及若干布尔变量, SAT 求解器根据这个表达式判定该逻辑命题是否可满足从而决定该命题是否成立。如果可满足, SAT 求解器 (包括 MiniSAT) 得到结果判定命题公式集是真的。许多复杂的电路问题都可以转换成 SAT 可满足性问题, 并利用 SAT 求解器求解, 得出最终的结果^[3]。本文以与门电路说明 MiniSAT 求解器的使用方法, 包括如何输入格式、调用求解器以及输出结果。与门电路如图 1 所示。

收稿日期: 2013-04-28

基金项目: 海南软件职业技术学院 2011 年度基金资助项目 (Hr201105); 海南软件职业技术学院 2013 年度基金资助项目 (Hr201301); 海南软件职业技术学院 2011 年度基金资助项目 (Hr201109)

作者简介: 曾维鹏 (1982—) 男, 海南海口人, 讲师; 蔡莉莎 (1984—), 女, 海南海口人, 助教; 吴恒玉 (1965—), 男, 辽宁抚顺人, 教授, 硕士; 林尔敏 (1985—), 女, 海南琼海人, 实验室助理员。

2013 年第 7 期

73

LNGZXB

一、合取范式 (CNF)

MiniSAT 求解器以合取范式 (CNF) 即以析取子句为合取项的合取式文件作为输入^[4], 每一个命题公式 (集) 均可以转化为一个 CNF 文件描述。合取范式是由基本和之积组成的公式, 即由或与表达式组成的公式。CNF 的构成包括: 项, 每个项即一个布尔变量; 子句, 每个子句由一个或多个项构成, 项之间通过逻辑符号 OR (运算符 \vee) 连接, 一个子句中不会出现重复的布尔变; 表达式, 每个表达式由一个或多个子句构成, 子句之间通过 AND (运算符 \wedge) 连接^[5]。如图 1 所示与门电路中, 1、2 分别表示相应的输入节点变量; 3 表示相应的输出节点变量; 输入输出正值表示高电平, 负值表示低电平; 4 表示组件变量, 当组件变量取正值表示部件正常工作, 取负值表示部件不正常工作。

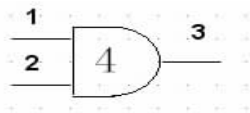


图 1 与门电路图

当与门部件正常工作时, 输入 1、2 时, 输出为 3, 其逻辑描述为: $OK(4) \wedge 1 \wedge 2 \rightarrow 3$ ^[6], 将其转换为范式的形式 (将蕴含符号 \rightarrow 去掉) 变成 $\neg OK(4) \vee \neg 1 \vee \neg 2 \vee 3$ 。考虑与门不同输入所产生的不同逻辑描述, 则与门的合取范式 (CNF) 表达如下: $(\neg OK(4) \vee \neg 1 \vee \neg 2 \vee 3) \wedge (\neg OK(4) \vee 2 \vee \neg 3) \wedge (\neg OK(4) \vee 1 \vee \neg 3)$ 。

二、MiniSAT 输入格式

MiniSAT 与其他 SAT 求解器一样, 使用 MiniSAT 求解器需先将要求解的公式等价地转换成合取范式 (CNF), 然后以 DIMACS 格式表达。它是一个简单的文本格式, 每一注释行都是以 “c” 开始的, 非注释行第一行的格式为: p cnf NUMBER_OF_VARIABLES NUMBER_OF_CLAUSES 开始的。其中 VARIABLES 表示布尔变量的个数, CLAUSES 表示子句的个数。

每一个非注释行后都跟着一个子句, 每一行都以空格分开的变量列表, 正值意味着变量的真 (所以 1 代表异或门输入高电平), 负值表示变量的非 (所以 -1 表示异或门输入低电平)。每一行都以空格和 0 表示一个子句的结束。与门的系统描述、组件正常行为描述的 DIMACS 的表达文件如下:

```
-1 -2 -4 3 0
2 -4 -3 0
1 -4 -3 0
```

第一个子句, 为 $\neg 1 \neg 2 \neg OK(4) 3$ 子句的 DIMACS 的表达形式。求解器的工作就是找到一个布尔变量值的集合, 使得所有的子句的值都是真的。类似的可以写出观测的 DIMACS 文件描述以及系统组件正常行为的 DIMACS 文件描述。当与门为正常工作时, 输入节点变量 1、2 为低

电平时, 观测到的输出节点变量 3 为高电平, DIMACS 的表达文件如下:

```
-1 0
-2 0
3 0
4 0
```

将与门电路的系统描述、观测描述以及系统组件正常行为的 DIMACS 文件描述追加到文本文档中如图 2 所示。

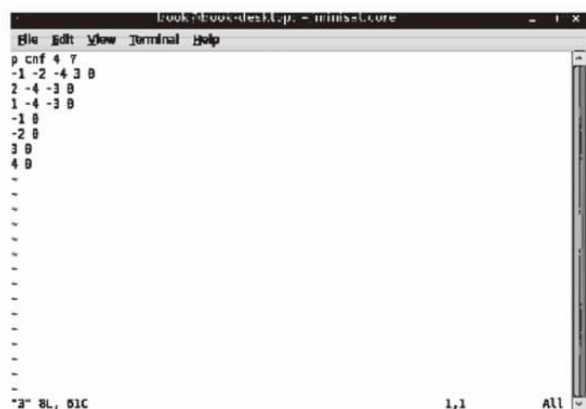


图 2 与门电路的文本文档描述

三、调用 SAT 求解器

MiniSAT 求解器是在 Linux 环境下运行的, 调用 MiniSAT 求解器的指令为: minisat [options] [INPUT-FILE] [RESULT-OUTPUT-FILE]。INPUT-FILE 以及 RESULT-OUTPUT-FILE 要求为纯文本或者 gzipped 格式。除了调用 MiniSAT 求解器求解可满足性以为, 还可以通过调用选项 “-h” 或 “--help” 来查看其它选项。其它选项如下所示:

```
-pre = {none,once} [Turn on preprocessor]
-asymm
-rcheck
-grow = NUM [must be greater than 0]
-polarity-mode = {true,false,rnd}
-decay = NUM [0 - 1]
-rnd-freq = NUM [0 - 1]
-dimacs = OUTPUT-FILE
-verbosity = {0,1,2}
```

使用时值的选项必须紧跟着它的值, 如: minisat -pre=once。

下面我们以与门电路为例说明调用 MiniSAT 求解器判断其可满足性的过程。首先新建一个名为 2 的文本文档, 里面是与门电路的系统描述、组件正常行为描述以及观测描述的 DIMACS 文件, 如图 2 所示。其次输入指令为 ./minisat 2 2relt 调用 MiniSAT 求解器判定 DIMACS 文件的可满足性。如果在 2relt 文本文档中, (下转 83 页)

阻止试图枚举网上 SQL Server 实例的客户端所发出的广播做出响应^[6]。同时可以通过 IPSec 限制来自 1434 端口的探测, 过滤并拒绝掉 1434 端口的 UDP 通讯, 并防止 DOS 攻击造成 CPU 负荷量增加。

(四) 将服务器进行隔离, 定期备份数据库

通过逻辑和物理上的隔离是 SQL Server 服务器的安全基础。物理隔离的要求之一是应当将服务器放在温度、湿度、通风指标合格并配置火灾系统、消防系统等受保护的区域。Internet 不允许被直接连接, 允许在企业内部网的安全区中安装数据库。备份数据库是很重要的一环, 做好数据库备份工作, 最好实现异地备份, 并保障备份数据站点的安全性。

四、结论

数据库安全性问题一直是围绕着数据库管理员的噩梦, 数据库数据的丢失以及数据库被非法用户的侵入使得数据库管理员身心疲惫不堪。本文分析研究数据库的安全机制, 对保障数据库的数据安全提供一定的参考价值。其实数据库的安全机制是我们致力研究的一个课题, 也是一个复杂的课题。要想实现数据的安全需要在技术、法

律、管理等因素的影响下, 不断地加强防范意识, 提高和改进技术人员的使用和管理水平, 使数据库的安全机制达到一个更理想的标准。

参考文献:

- [1]胡家汉,李景峰.对 SQL Server 数据库的安全和管理策略探讨[J].计算机光盘软件与应用,2012(2):101-102.
- [2]杨海俊.SQL Server 数据库在实际运用中的策略分析探究[J].计算机光盘软件与应用,2012(5):154-155.
- [3]余峰.SQL Server 2008 数据库的安全性分析[J].计算机光盘软件与应用,2012(8):37.
- [4]劳翠金,秦桑.SQL Server 2005 数据库的安全管理[J].中国信息界,2012(4):101-102.
- [5]王希忠,曲家兴,黄俊强,等.网络数据库安全检测与管理程序设计实现[J].信息网络安全,2012(2):78.
- [6]戴锐,范霞,方东.SQL Server 数据库的安全策略探讨[J].江西电力职业技术学院学报,2010(1):84-86.

[责任编辑, 抚顺职院: 陈 辉]

(上接 74 页) 第一行输出“SAT”, 则表示输入结果可满足, 第二行则是满足表达式的布尔变量值的集合。如果输出“UNSAT”表示整个电路不可满足, 此门电路可能出现故障。

当输出结果是可满足时, 第二行则显示是满足表达式的布尔变量值的其中一个集合。如果想得到其他解, 可以添加一个子句, 将已有解作为增加的子句建立新的输入, 将新的 DIMACS 文件放到文件“second.in”中, 然后运行: ./minisat second.in second.out。反复如此, 直至求解出满足表达式的布尔变量值的所有集合。

以与门电路为例, 描述了如何将电路问题转换成可满足性 SAT 问题并使用 MiniSAT 求解器进行求解, 包括输入格式、选项以及输出格式要求。MiniSAT 的开发使得求解方法更加简单便捷, 而且不需要耗费太多系统资源空间以及运行时间, 求解效率大大提高。

参考文献:

- [1]田聪,段振华,王小兵.Einstein 谜的 SAT 求解[J].计算机科学, 2010(5):184-185.
- [2]赵伟楠.对可满足性(SAT)问题求全解的算法研究及实现[D].北京:北京交通大学,2009.
- [3]胡晓艳.基于蕴含推理的 SAT 预处理器的实现[D].上海:复旦大学,2009.
- [4]Wikipedia.Conjunctive normal form [DB/OL]. [2013-04-12]. http://en.wikipedia.org/wiki/Conjunctive_normal_form,2013 -6-30/2013-7-30.
- [5]David A,Wheeler.MiniSAT User Guide: How to use the MiniSAT SAT Solver[DB/OL].[2013-04-12].<http://www.dwheeler.com/essays/minisat-user-guide.html>,2008-6-28/2008-7-30.
- [6]赵相福,欧阳丹彤.使用 SAT 求解器产生所有极小冲突部件集[J].电子学报,2009(4):804-810.

[责任编辑, 抚顺职院: 陈 辉]