



ILOG CPLEX 与铁道运输优化

孙晚华 等著

中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

铁路科技图书出版基金资助出版

ILOG CPLEX 与铁道运输优化

ILOG CPLEX YU TIEDAO YUNSHU YOUHUA

孙晚华 等著

中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

内 容 简 介

本书由铁路科技图书出版基金资助出版。本书试图将 ILOG CPLEX、运筹学和交通运输专业问题三者有机结合起来,用 ILOG CPLEX 来求解和进一步优化,展示用运筹学知识和 CPLEX 优化软件解决铁道运输等交通运输专业典型问题的基本技能。

本书内容主要包括 IBM ILOG CPLEX 概述、OPL、ILOG CPLEX 在运输问题中的应用、ILOG CPLEX 在铁路车流组织问题中的应用、ILOG CPLEX 在高速铁路列车运行图优化问题中的应用、ILOG CPLEX 在铁路机车周转图优化问题中的应用、ILOG CPLEX 在 ITS 中的应用和 ILOG CPLEX 在公交司乘排班问题中的应用。

本书适合铁道运输、交通运输等专业科研人员、高校教师参考,也可作为普通高等院校交通运输、管理工程等专业的本科生和研究生教材或参考书。

图书在版编目(CIP)数据

ILOG CPLEX 与铁道运输优化 / 孙晚华等著. —北京:
中国铁道出版社, 2014. 11
ISBN 978-7-113-19498-7

I. ①I… II. ①孙… III. ①铁路运输管理-网络服
务器-应用软件 IV. ①U29-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 250143 号

书 名: ILOG CPLEX 与铁道运输优化
作 者: 孙晚华 等著

策 划: 李小军
责任编辑: 李小军 王 惠
封面设计: 刘 颖
责任校对: 汤淑梅
责任印制: 李 佳

读者热线: 400-668-0820

出版发行: 中国铁道出版社(100054,北京市西城区右安门西街8号)
网 址: <http://www.51eds.com>
印 刷: 三河市宏盛印务有限公司
版 次: 2014年11月第1版 2014年11月第1次印刷
开 本: 720mm×960mm 1/16 印张: 13.25 字数: 178千
书 号: ISBN 978-7-113-19498-7
定 价: 35.00元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版图书,如有印制质量问题,请与本社教材图书营销部联系调换。电话:(010) 63550836
打击盗版举报电话:(010) 51873659

前 言

运筹学起源于军事领域，后来转向民用，并广泛应用于市场销售、生产计划、库存管理、运输问题、财务和会计、人事管理、设备维修、更新和可靠性、项目选择和评价、信息系统、城市管理等生产、管理和生活的各个方面，用于解决生产和生活中的实际问题。在交通运输领域，运筹学也有十分广泛的应用，甚至国际运筹学协会设有航空组，专门研究空运中的运筹学问题。在铁路运输中，运筹优化问题比比皆是，例如铁路车流组织、技术站作业组织、机车车辆运用、通过能力计算与利用、列车运行图编制等都是运筹优化问题。运筹学在解决大量实际问题的过程中形成了提出和形成问题、建立模型、求解，以及求解的检验、控制、实施等工作步骤，为运筹学的应用提供重要的方法参考。

CPLEX 是 ILOG 公司（2009 年 1 月被 IBM 收购）开发的一个优化引擎。该优化引擎用来求解线性规划（LP）、二次规划（QP）、带约束的二次规划（QCQP）、SOCP（二阶锥规划）等四类基本问题，以及相应的混合整数规划（MIP）问题。软件 IBM ILOG CPLEX Optimization Studio 中自带该优化引擎。IBM ILOG CPLEX Optimization Studio 具有执行速度快的特点，其自带的 OPL 简单易懂，并且与众多优化软件及语言兼容，因此目前欧美应用十分广泛。虽然其在中国的应用还不广泛，但是 IBM 一直致力于与高校合作，进行 CPLEX 的市场培育，其发展空间很大，具有很好的市场前景。目前，市面上也没有系统介绍 CPLEX 的中文书籍。

本书试图将 ILOG CPLEX、运筹学和交通运输专业问题三者有机结合起来。首先介绍 CPLEX 的基本功能，以及 CPLEX OPL 语言的语法；然后结合一些交通

运输领域尤其是铁路运输领域的优化应用经典问题，通过建立相应实例的运筹学优化模型，用 CPLEX 来求解和进一步优化方案，来展示用运筹学知识和 CPLEX 优化软件解决铁路运输等交通运输专业典型问题的基本技能。

本书由北京交通大学孙晚华等著。第 1、2、3、7 章由孙晚华执笔，第 4 章由北京交通大学陈军华执笔，第 5 章由北京交通大学何世伟执笔，第 6 章由北京交通大学徐斌执笔，第 8 章由北京交通大学王伶俐执笔。全书统稿工作由孙晚华完成。另外，在 CPLEX 建模与编程，以及收集资料与文字编辑方面，北京交通大学王兴同志做了大量的工作；IBM 的软件工程师崔友志给予了大力支持。在此向他们表示衷心感谢！

由于著者水平及经验有限，书中难免有不足和疏漏之处，敬请广大读者批评与指正！

著 者
2014 年 10 月

目 录

第 1 章 IBM ILOG CPLEX 概述	1
1.1 CPLEX 介绍	1
1.2 CPLEX Studio 介绍	2
1.2.1 菜单栏	3
1.2.2 工具栏	4
1.2.3 状态栏	4
1.2.4 窗口	4
1.3 CPLEX 求解的优化问题简介	10
1.4 CPLEX 在交通运输中的应用	15
1.4.1 概述	15
1.4.2 交通运输领域中的运筹学问题	16
思考与练习	17
第 2 章 OPL	18
2.1 OPL 概述	18
2.2 OPL 的常用符号	19
2.3 数据	26
2.3.1 数据变量与数据元素	26
2.3.2 数据类型	29
2.3.3 数据的初始化	32
2.4 数组	37
2.5 元组	42
2.5.1 元组概述	42
2.5.2 定义元组类型的语法	46

2.5.3	定义元组变量及其初始化	48
2.5.4	元组变量的引用	50
2.5.5	元组数组	51
2.6	脚本语言	52
2.6.1	预处理模块	52
2.6.2	正在处理模块	54
2.6.3	后处理模块	54
2.6.4	流控制模块	54
2.7	建模建议	56
2.8	关键字及其用法	62
2.8.1	数据定义相关关键字及其用法	62
2.8.2	决策变量定义相关关键字及其用法	65
2.8.3	目标函数和约束条件定义相关关键字及其用法	67
2.8.4	数据文件中的语法规则	69
2.8.5	处理命令相关关键字	71
2.8.6	其他关键字	75
2.9	OPL 简单应用	78
	思考与练习	79
第3章	ILOG CPLEX 在运输问题中的应用	81
3.1	运输问题概述	81
3.2	运输问题的数学模型	82
3.3	运输问题在 CPLEX 中建模与求解	84
3.3.1	运输问题模型的实例编码	84
3.3.2	运行配置与求解	86
3.4	非标准运输问题的建模与求解	87
3.4.1	产销不平衡问题	87
3.4.2	有约束的问题	89

3.4.3 转运问题	92
思考与练习	97
第4章 ILOG CPLEX 在铁路车流组织问题中的应用	100
4.1 铁路车流组织优化概述	100
4.1.1 车流组织过程与货物列车编组计划	100
4.1.2 车流组织优化问题描述	102
4.1.3 车流组织优化方法概述	104
4.2 货物列车编组计划的数学模型	106
4.3 在 CPLEX 中建模与求解	109
4.3.1 模型的实例编码	109
4.3.2 运行配置与求解	111
思考与练习	112
第5章 ILOG CPLEX 在高速铁路列车运行图	
优化问题中的应用	114
5.1 高速铁路运行图问题的描述	114
5.2 最基本高速铁路运行图问题的数学模型	120
5.3 计算机模型的 OPL	122
5.3.1 模型变量与参量定义	122
5.3.2 数据文件编码及运行结果	123
5.4 模型的改进	127
思考与练习	128
第6章 ILOG CPLEX 在铁路机车周转图优化问题中的应用	130
6.1 机车周转图优化问题概述	130
6.1.1 指派问题算法模型	132
6.1.2 最小费用最大流问题	133
6.2 机车周转问题的数学模型	133
6.3 计算机模型的 OPL	135

6.3.1	模型文件编码	135
6.3.2	数据文件编码	136
6.3.3	配置与运行	136
6.4	机车周转图的网络流模型及 CPLEX 求解	140
6.4.1	网络流问题与机车周转图编制问题	140
6.4.2	机车周转图的网络流模型	140
6.4.3	OPL 实现	146
	思考与练习	148
第 7 章	ILOG CPLEX 在 ITS 中的应用	152
7.1	ITS 问题概述	152
7.1.1	ITS 概述	152
7.1.2	路径规划原理概述	159
7.2	ITS 问题的数学模型	166
7.2.1	问题描述	166
7.2.2	建立 CPLEX 能够求解的优化模型	167
7.3	ITS 问题在 CPLEX 中建模与求解	168
7.3.1	ITS 问题模型的实例编码语言	168
7.3.2	运行配置与求解	171
7.4	其他最短路径问题的建模与求解	172
	思考与练习	176
第 8 章	ILOG CPLEX 在公交司乘排班问题中的应用	177
8.1	公交司乘人员排班问题概述	177
8.2	公交司乘人员排班问题的数学模型	180
8.2.1	最少班次问题	180
8.2.2	生成车次链问题	185
	思考与练习	201
	参考文献	202

第1章 IBM ILOG CPLEX 概述

1.1 CPLEX 介绍

CPLEX 是 ILOG 公司(如今被 IBM 收购)在 1987 年创立之初就开发出来的一个优化引擎。ILOG 公司从成立之初一直致力于优化软件的研究,并且在最初 CPLEX 的基础上不断扩大,不仅 CPLEX 的功能不断完善,还研制出了一个新的用于求解约束规划问题的求解器——CP 优化求解器。

CPLEX 优化引擎可以用来求解线性规划(LP)、二次规划(QP)、带约束的二次规划(QCQP)、二阶锥规划(SOCP)及相应的混合整数规划(MIP)问题。IBM ILOG CPLEX Optimization Studio(以下简称 CPLEX Studio)软件中自带该优化引擎。

ILOG 公司从成立后经历了如下发展历程:

1987 年,CPLEX 1.0 诞生并且使得数学规划技术取得突破性进展;

1991 年,开发出第一个投入市场的约束规划引擎:CP;

1994 年 5 月,约束规划引擎(CP)成为第一个使用线性规划障碍算法的引擎;

1996 年,约束规划引擎(CP)第一次扩展用来解决逻辑上和时间限制的问题;

1998 年,开发出一种既能支持数学规划问题又能支持约束规划问题的建模语言,即 OPL;

1999 年,在混合整数规划的速度和使用简单性方面取得了较大的进展;

2000 年,European Union Research Grant 首次将约束规划引擎(CP)扩展应用到运输调度问题上;

2004 年,Bob Bixby 和 Janet Lowe 在运筹学和管理学研究学会上赢得最具影响力产品奖,以纪念他们在 ILOG CPLEX 上取得的成就。

1.2 CPLEX Studio 介绍

CPLEX Studio 是一个将 OPL 集成开发环境、CPLEX 求解器和 CP 求解器合并在一起的用于开发基于优化的分析型决策支持应用的综合工具包。它是以 OPL 为核心集建模和求解于一体的一款软件平台,它提供了快速建立高效优化模型以及全方位解决规划和调度问题的方法,它拥有集成开发环境、描述性建模语言和内置的工具,因此能够支持完整的建模和求解全过程。

CPLEX Studio 具有如下特点:执行速度快,其自带的语言简单易懂,并且与众多优化软件及语言兼容,可加速优化模型的开发和部署,结合了领先求解引擎和紧密集成的 IDE 与建模语言,因此应用十分广泛。

安装 CPLEX Studio 之后,双击软件图标,启动 CPLEX Optimization Studio 12.4,其界面如图 1-1 所示,这是其默认界面。CPLEX 的所有操作都是在该主界面上操作的。第一行为菜单栏,第二行是工具栏,底部是状态栏,中间是常用的 4 个窗口:左上方是 OPL 项目导航窗口,左下方是问题浏览器窗口,右上方是编辑窗口,右下方是输出窗口。

下面就对 CPLEX Optimization Studio 12.4 界面的各个部分做一个简单的介绍。

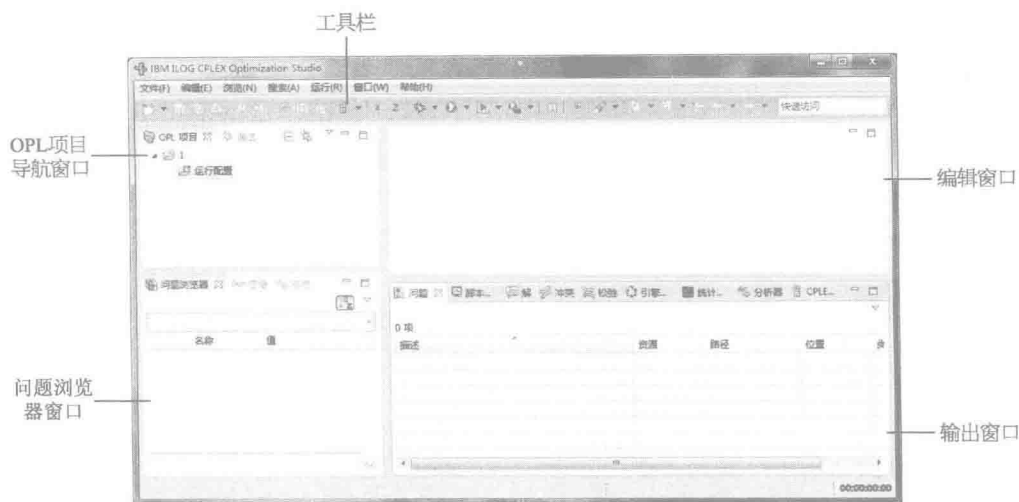


图 1-1 CPLEX Optimization Studio 12.4 的界面

1.2.1 菜单栏

菜单栏类似于 Word 软件,下面选取一些常用的菜单进行说明,如表 1-1 所示。

表 1-1 菜单栏功能

菜 单	使 用 说 明
文件/新建	用来新建 OPL 项目及项目中的模型文件、数据文件、设置文件和运行配置等
文件/导入	用来导入已有的 OPL 项目或者软件自带的示例 OPL 项目
文件/导出	用来导出 OPL 项目
文件/切换工作空间	用来设置工作空间文件在计算机中的位置
编辑	即对编辑区域进行相关的编辑操作,包括撤销、重做、剪切、复制、粘贴、删除、全部选中、查找和替换
窗口	用来自定义界面布局
帮助	其中包含关于软件的详细介绍,遇到疑问基本上都可以通过查看帮助文件得以解决

1.2.2 工具栏

工具栏分为两部分,其中左边是标准的工具栏,其功能与 Word 中的很类似,有新建、保存、全部保存、打印、撤销、前进、剪切、复制和粘贴这些快捷的工具图标。

1.2.3 状态栏

状态栏用来显示求解的进度与时间信息。

1.2.4 窗口

常用的 5 个窗口及其功能如表 1-2 所示。

表 1-2 常用窗口功能

窗 口	功 能
OPL 项目导航窗口	列出项目、模型文件、数据文件、设置文件和运行配送文件
问题浏览器窗口	显示求解结果的一些信息
编辑窗口	是软件的主要窗口,是模型文件、数据文件和设置文件的编辑区域
输出窗口	显示求解的结果、出现的问题、冲突情况、松弛解情况、引擎日志信息和求解过程中的统计信息与分析器
大纲窗口	显示模型的程序结构信息

1. OPL 项目导航窗口

一个 OPL 项目至少需要一个模型文件和一个运行配置文件。CPLEX Studio 使用项目将 OPL 模型文件、数据文件和设置文件联系起来。位于根目录的项目文件将所有相关的模型、数据和设置文件组织起来。

一个项目文件只能而且必须有一个模型文件(即以“. mod”为扩展名的文件),而数据文件(以“. dat”为扩展名的文件)和设置文件(以“. ops”为扩展名的文件)。

件)可有可无。但是,一个项目可以包括多组运行配置文件,每一个运行配置文件将模型文件、数据文件和设置文件联系起来用于求解。

模型文件会定义数据元素,但是不一定会初始化这些数据元素。数据文件则包含了在模型文件中定义的数据元素的初始化。

① 一个最小的项目拥有:

- 一个 OPL 模型文件;
- 一个默认的运行配置文件,这个运行配置文件配置了这个 OPL 模型文件。

② 一个典型的项目拥有:

- 一个或者更多的 OPL 模型文件;
- 任何数量的数据文件或者没有数据文件;
- 任何数量的设置文件或者没有设置文件;
- 一个或者更多的运行配置,将这一个项目文件中的 3 类文件链接在一起。

(注意:一个运行配置文件最多只能有一个模型文件。)

③ 整个 IDE 界面都可以自己根据喜好来排布,例如:某些窗口的显示与隐藏、窗口的位置、窗口中内容的显示等。主要通过以下途径:

- “窗口”菜单;
- 在每个窗口顶部右击;
- 拖动窗口。

(1) 模型文件

模型文件中所有的 OPL 语句都可以用到。数据和目标函数不是必须要有的,像脚本语句,可以作为可选部分在模型文件中使用。模型文件中经常会出现如下内容:

① 数据的定义:这里数据的定义就是在模型的前面对数据类型的定义(包括 string、int 和 float),实际上就是在模型文件中定义数组的名称。

② 决策变量的定义;

③ 目标函数;

④ 引擎的定义;

⑤ 约束;

⑥ 脚本语句。

(2) 数据文件

数据文件是在模型与数据分开时,存放数据的文件。

(3) 设置文件

设置文件在以不同的值进行试验时非常有用,其主要是通过改变 CPLEX 参量予以实现。最方便的方法就是给每一个或者每一想测试的值新建一个设置文件和一个不同的运行配置文件。当然,如果在建模时经常需要用到一个特别的设置,还可以写一个脚本模块将这个参数嵌入模型。

(4) 运行配置文件

求解一个 OPL 项目时必须先进行配置才能求解,一个运行配置文件至少需要一个模型文件,还可以有数据文件和设置文件。

2. 问题浏览器窗口

此窗口中主要显示模型结构的 5 种元素类型 (element types): 数据、决策变量、决策表达式、约束和结果数据。

窗口能够实现的功能:问题结果显示排序、对以上 5 种元素类型过滤与否、选择显示不同目标值的解决方案。

当求解混合整数规划问题时,可能会有多个解决方案会列在问题浏览器上部的下拉菜单中。可以选择其中之一显示。

双击某项数据会打开相应的编辑语言。

将鼠标移动到每一项数据上会显示一个“显示数据视图”工具栏,单击可以对数据进行透视。

3. 编辑窗口

在打开一个文件时,在导航窗口中右击相应的文件,在弹出的快捷菜单中选

择“比较对象”命令,可以对比两个文件。

状态栏位于界面的底部。这里主要是显示正在求解项目的执行状态、已经求解的时间、编辑区域正在被编辑的文件状态、当前线和指针栏数等信息。

4. 输出窗口

输出窗口中有 8 个标签,分别是“问题”“脚本日志”“解”“冲突”“松弛”“引擎日志”“统计信息”和“分析器”。

(1) 问题

“问题”标签用来显示在编辑时的语法错误、内部错误,包括求解模型时的脚本和算法错误,如图 1-2 所示。

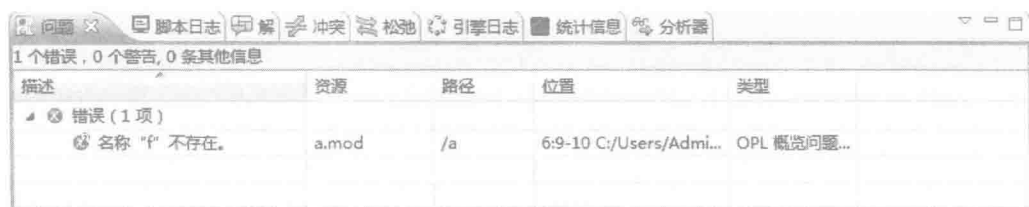


图 1-2 “问题”标签

(2) 脚本日志

若在模型中设置了后处理模块,定义了脚本输出命令,则会在“脚本日志”标签中输出相应的结果,如图 1-3 所示。

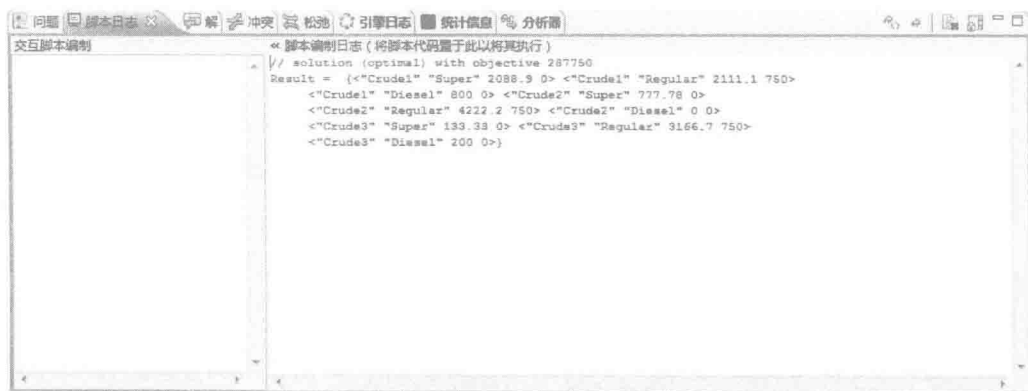


图 1-3 “脚本日志”标签

(3) 解

在求解之后,结果会自动显示在“解”标签中,不过这里的结果不方便阅读,如图 1-4 所示。

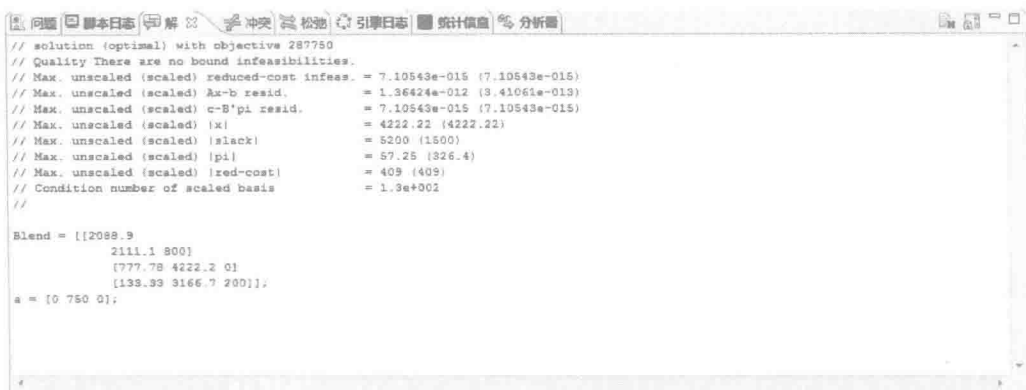


图 1-4 “解”标签

(4) 冲突

在求解过程中如果出现冲突会在“冲突”标签体现出来,如图 1-5 所示。



图 1-5 “冲突”标签

(5) 松弛

在求解混合整数规划问题时可能不会有最优解,但是对某个约束条件稍加改变会得到解,CPLEX Studio 在求解不到最优解时会自动对相关约束条件进行松弛以得到最优解,并显示在“松弛”标签内,其标签信息如图 1-6 所示。

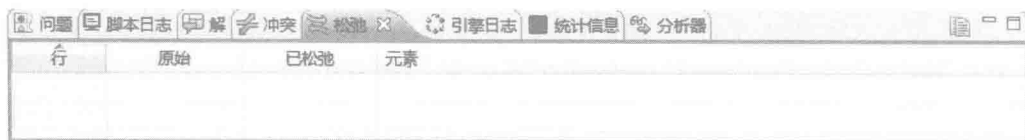


图 1-6 “松弛”标签