



# 智能规划与规划识别

谷文祥 殷明浩 徐 丽 等著



科学出版社

[www.sciencep.com](http://www.sciencep.com)

## 内 容 简 介

智能规划与规划识别是人工智能研究领域的热点问题。本书分门别类地介绍了最近十几年国内外相关研究的主要成果,着重介绍了在图规划框架下智能规划的研究工作。主要有图规划、最小承诺图规划、灵活图规划、数值图规划、时序规划、不确定规划。对于规划识别主要介绍了 Kautz 的规划识别理论、基于目标图分析的目标识别、基于回归图分析的规划识别,以及对手规划的识别与应对等。

本书可作为计算机专业硕士研究生或博士研究生教材,也可供研究人员和工程技术人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

---

智能规划与规划识别/谷文祥等著. —北京:科学出版社,2010  
ISBN 978-7-03-027360-4

I. 智… II. 谷… III. 人工智能-研究 IV. TP18

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 076176 号

---

责任编辑:张艳芬 王志欣 / 责任校对:刘小梅  
责任印制:赵 博 / 封面设计:耕 者

**科学出版社** 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

**新蕾印刷厂** 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2010 年 5 月第 一 版 开本: B5(720×1000)

2010 年 5 月第一次印刷 印张: 18 1/2

印数: 1—2 500 字数: 358 000

**定价: 55.00 元**

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

# 前 言

智能规划是一个涵盖知识表达、知识推理、非单调逻辑、情景演算、知识挖掘、人机交互和认知科学等许多方面的多领域交叉性学科,其发展不仅对于人工智能领域具有重要意义,甚至会从根本上改变人类使用计算机的传统方式。智能规划的发展已有五十多年的历史,它的研究经历了创建与成长、曲折与停滞、而后蓬勃发展的艰难历程。

智能规划是 20 世纪 50 年代后期迅速发展起来的一个研究领域,至今它的研究已达半个世纪之久,其发展对计算机科学、人工智能、认知科学等领域产生了重要的影响,并广泛应用于机器人、自然语言理解、知识推理、人机交互、游戏角色设计等方面。20 世纪 70 年代,此领域的研究达到了鼎盛时期,这期间出现了众多规划系统,取得了丰硕成果,奠定了现代智能规划理论的研究基础。之后,受到当时客观条件的制约,该领域一直处于保守状态,甚至出现了某种程度的停滞。一些专家过于乐观的想法并没有实现,智能规划的研究要比当初人们预料的艰难得多、复杂得多。其发展道路非常曲折,某些学者甚至对智能规划是否能够发展下去产生了怀疑,但研究进程的曲折以及对其前景的怀疑并没有阻止该领域的发展,暂时的停滞只是孕育着新的进展与突破。

近年来,随着应用的需要以及客观条件的改善,此领域获得了长足发展。在欧美等发达国家掀起了智能规划理论研究、应用开发的热潮,有关这一理论的研究成果不断涌现。比较成熟的模型和相应算法种类繁多,各种修正和演变模型、算法更是层出不穷。这些卓有成效的方法使得规划系统的效率得到了显著提高,并在现实世界中得到了广泛应用。在智能规划自身强大优势的感召下,学者们对该方向产生了极大的兴趣,该领域的活动也越来越多。学者们致力于使规划系统解决的问题更多、求解的速度更快、求出的规划解更优。此领域的研究进入了突飞猛进的时代,呈现出一派生机勃勃的景象。值得注意的是,目前我国人工智能和其他相关学科领域的专家、学者、工程技术人员在智能规划理论和应用研究方面也取得了许多可喜的成绩。但由于规划问题的复杂性,现今仍有很多国际难题尚未解决,存在着巨大的研究空间。因此,未来此领域的研究无疑将继续作为一个富有挑战性的国际研究热点,成为深刻影响人类的伟大工程。所以,作者很想通过本书将当前的研究状况呈现给对此领域感兴趣的读者,使其能够全面、准确地掌握智能规划的基本原理、应用方法及发展趋势。

本书分门别类地介绍了最近十几年国内外相关研究的主要结果,着重介绍了

在图规划框架下智能规划的研究工作,特别关注当前研究的热点、难点问题,系统、全面地研究了这期间出现的各种新方法,客观、深入地介绍了各项研究成果,重点展示了智能规划技术的研究现状及面临的问题,试图勾画出目前智能规划研究的重要方面、关键技术及其发展趋势。本书结合作者的实际研究工作,以智能规划的发展过程为对象,以图规划方法为中心,以对图规划进行的扩展为主线,综述了图规划框架下智能规划整体及其结构演进的大势大略,总结了国内外有关理论书籍和文献,并着重介绍了1995年以来十几年的发展情况。这些介绍重点展示了智能规划技术的研究现状及其所面临的问题,旨在以尽可能简明、通俗的语言及尽可能少的预备知识将智能规划这一前沿的科学理论介绍给广大读者。同时,本书还提供了一些有益的分析与研究资料,希望能够为对此领域感兴趣的研究者带来快捷查找所需资料的方便,提供一个开阔视野、了解研究动态、尽快进入实质性研究的途径。

本书的前言、第一章、第二章、第三章的3.1、3.3、3.5~3.7节、第五章由徐丽执笔,第三章的3.2、3.8、3.9节由孙秀丽执笔,3.4节由张新梅执笔,第四章由王芳执笔,第六章由王艳执笔,第七章由王金艳执笔,第八章由李丽和李丹丹执笔,第九章由尹吉丽执笔。由徐丽进行统稿,之后由殷明浩进行修改加工,最后由谷文祥进行修改和定稿。在本书出版之前,王金艳又对全书进行进一步修改,并对图表和文字的排版进行了统一处理,花费大量时间和精力。

本研究得到了国家自然科学基金面上项目(No:60473042,60573067,60803102)的资助,在此表示感谢。

由于智能规划与规划识别涉及的知识面比较宽,而我们对这一领域的研究还不够深入,书中错漏之处在所难免,欢迎读者和专家提出批评和指正。

作 者

2010年1月22日

# 目 录

## 前言

<b>第一章 绪论</b> .....	1
1.1 智能规划发展历史 .....	1
1.2 智能规划的应用 .....	2
1.2.1 在航空航天中的应用 .....	2
1.2.2 在机器人中的应用 .....	2
1.2.3 在智能工厂中的应用 .....	3
1.2.4 在商业中的应用 .....	3
1.3 本书概要 .....	4
参考文献.....	5
<b>第二章 规划表示语言</b> .....	8
2.1 STRIPS 表示 .....	8
2.2 动作描述语言 .....	9
2.3 规划领域定义语言 .....	9
2.3.1 PDDL 的提出及其背景 .....	9
2.3.2 PDDL 各版本简介 .....	10
2.4 规划语言的发展.....	15
参考文献 .....	15
<b>第三章 图规划</b> .....	17
3.1 经典规划.....	17
3.1.1 问题定义.....	17
3.1.2 状态空间规划 .....	17
3.1.3 规划空间规划 .....	19
3.1.4 偏序规划与全序规划 .....	20
3.1.5 现代经典规划 .....	20
3.2 图规划方法.....	21
3.2.1 基本概念.....	21
3.2.2 扩张规划图算法 .....	23
3.2.3 搜索有效规划算法 .....	24
3.2.4 Graphplan 的局限性与未解决的问题.....	28

3.3 求解方向的变形	29
3.3.1 正向求解	29
3.3.2 反向求解	31
3.3.3 基于双向并行的图规划	37
3.4 最小承诺的图规划	39
3.4.1 预备知识	39
3.4.2 最小承诺的图规划算法	41
3.4.3 简单的规划问题举例	43
3.4.4 最小承诺的图规划算法的优缺点	44
3.5 图规划中的条件效果	44
3.5.1 条件效果	44
3.5.2 全扩展法	45
3.5.3 要素扩展法	47
3.5.4 IPP 扩展法	48
3.5.5 利用兄弟元素改进要素扩展法	50
3.5.6 四种方法的比较	52
3.6 利用约束可满足问题在规划图中求解	52
3.6.1 约束可满足问题	52
3.6.2 约束可满足问题求解技术	53
3.6.3 利用 EBL 和 DDB 提高图规划搜索效率	53
3.7 灵活图规划算法	55
3.7.1 图规划的局限性	55
3.7.2 灵活图规划问题	56
3.7.3 灵活图规划算法描述	59
3.7.4 灵活图规划方法特性	61
3.8 数值图规划	61
3.8.1 ADL 中的基本概念	62
3.8.2 BRL	66
3.8.3 搜索算法	71
3.9 时序规划	79
3.9.1 概述	79
3.9.2 时序动作	80
3.9.3 时序规划图	81
3.9.4 解搜索	85
参考文献	86

<b>第四章 启发式规划方法</b> .....	89
4.1 启发式的设计原则——放松 .....	89
4.2 HSP .....	90
4.2.1 启发式 .....	90
4.2.2 搜索算法 .....	91
4.2.3 HSP2.0——最优最先搜索规划器 .....	92
4.3 HSP-r .....	93
4.3.1 状态空间 .....	93
4.3.2 启发式 .....	94
4.3.3 互斥 .....	94
4.3.4 搜索算法 .....	95
4.3.5 相关工作 .....	96
4.4 FF 规划系统 .....	96
4.4.1 FF 系统结构 .....	97
4.4.2 符号说明 .....	97
4.4.3 用 Graphplan 作为启发式估计 .....	98
4.4.4 爬山算法的一个新的变体 .....	102
4.4.5 剪枝技术 .....	104
4.4.6 扩展到 ADL 域 .....	108
4.5 LPG .....	110
4.5.1 在动作图空间中的局部搜索 .....	110
4.5.2 相邻状态的提炼 .....	113
4.5.3 模型化规划质量 .....	118
4.6 小结 .....	120
参考文献 .....	121
<b>第五章 符号模型检测理论</b> .....	123
5.1 域描述语言 NADL .....	123
5.1.1 采用 NADL 描述的规划问题 .....	123
5.1.2 NADL 语法 .....	124
5.1.3 NADL 语义 .....	125
5.1.4 NADL 的 OBDD 表示 .....	126
5.2 符号模型检测方法的由来 .....	127
5.3 逻辑及形式化表示 .....	128
5.3.1 量化布尔公式 .....	128
5.3.2 Kripke 结构 .....	129

5.3.3	计算树逻辑 .....	129
5.4	二元决策图 .....	130
5.4.1	OBDD 的值 .....	130
5.4.2	BDD 的化简 .....	131
5.5	符号模型检测 .....	132
5.6	转移关系的划分 .....	133
	参考文献 .....	134
<b>第六章</b>	<b>不确定规划</b> .....	<b>135</b>
6.1	不确定规划简介 .....	135
6.1.1	不确定规划问题 .....	135
6.1.2	不确定规划问题的解 .....	135
6.1.3	不确定规划方法 .....	136
6.2	图规划框架下的概率规划 .....	137
6.2.1	PGP 概述 .....	137
6.2.2	图规划框架下的表示方法 .....	138
6.2.3	图扩张算法 .....	139
6.2.4	有效规划提取算法 .....	140
6.2.5	缩减状态空间方法 .....	142
6.2.6	结论及未解决的问题 .....	143
6.3	一致图规划 .....	144
6.3.1	CGP 概述 .....	144
6.3.2	预备知识 .....	145
6.3.3	CGP 算法 .....	146
6.3.4	结论及未解决的问题 .....	153
6.4	感知图规划 .....	153
6.4.1	SGP 概述 .....	153
6.4.2	预备知识 .....	154
6.4.3	SGP 算法 .....	155
6.4.4	结论 .....	160
	参考文献 .....	161
<b>第七章</b>	<b>五届国际规划比赛综述</b> .....	<b>163</b>
7.1	第一届国际规划竞赛 IPC-1 .....	163
7.1.1	参赛规划器 .....	163
7.1.2	比赛所用的语言及测试域 .....	163
7.1.3	比赛结果 .....	163



---

7.1.4	冠军介绍	163
7.2	第二届国际规划竞赛 IPC-2	164
7.2.1	参赛规划器	164
7.2.2	比赛所用的语言及测试域	164
7.2.3	比赛结果	164
7.2.4	冠军介绍	165
7.3	第三届国际规划竞赛 IPC-3	165
7.3.1	参赛规划器	165
7.3.2	比赛所用的语言及测试域	165
7.3.3	比赛结果	166
7.3.4	冠军介绍	166
7.4	第四届国际规划竞赛 IPC-4	166
7.4.1	参赛规划器	167
7.4.2	比赛所用的语言及测试域	167
7.4.3	比赛结果	167
7.4.4	冠军介绍	167
7.5	第五届国际规划竞赛 IPC-5	168
7.5.1	参赛规划器	168
7.5.2	比赛所用的语言及测试域	168
7.5.3	比赛结果	169
7.5.4	冠军介绍	169
7.6	智能规划中未解决的问题与展望	170
	参考文献	171
第八章	规划识别	173
8.1	规划识别综述	173
8.1.1	规划识别的分类	173
8.1.2	规划识别的方法	175
8.1.3	规划识别的应用	192
8.2	Kautz 的规划识别理论	197
8.2.1	相关概念	197
8.2.2	事件层描述	199
8.2.3	四种假设	202
8.2.4	举例	206
8.2.5	Kautz 规划识别算法	212
8.3	基于目标图分析的目标识别	215

8.3.1	域表示 .....	216
8.3.2	目标图、有效规划和一致目标 .....	221
8.3.3	目标识别算法 .....	224
8.3.4	目标冗余以及最一致目标 .....	229
8.4	基于回归图的规划识别方法 .....	230
8.4.1	域表示 .....	230
8.4.2	回归图 .....	231
8.4.3	回归图算法 .....	232
8.5	关键问题与展望 .....	235
8.5.1	关键问题 .....	235
8.5.2	展望 .....	236
	参考文献 .....	236
<b>第九章</b>	<b>对手规划</b> .....	<b>240</b>
9.1	对手规划简介 .....	240
9.1.1	对手规划的定义 .....	240
9.1.2	对手规划领域的特点 .....	241
9.1.3	对手规划问题的发展 .....	243
9.2	对手规划的识别与应对 .....	246
9.2.1	基于目标驱动的 HTN 规划方法 .....	247
9.2.2	基于 OBDD 的强循环对手规划方法 .....	254
9.2.3	战术规划识别 .....	263
9.2.4	网络信息对抗领域的规划方法简介 .....	276
9.3	对手规划领域存在的问题与研究展望 .....	279
9.3.1	对手规划领域存在的问题 .....	279
9.3.2	对手规划研究的展望 .....	280
	参考文献 .....	280
<b>附录 A</b>	<b>相关项目与会议</b> .....	<b>282</b>
<b>附录 B</b>	<b>主要智能规划器</b> .....	<b>283</b>

# 第一章 绪 论

## 1.1 智能规划发展历史

智能规划是人工智能领域中研究较早的一个分支,它的研究最早可以追溯到 20 世纪 50 年代后期,当时人们利用程序来模拟人类的问题求解能力。作为此目的的第一个系统是由 Newell 和 Simon 设计的逻辑理论家程序,随后他们又设计了通用问题求解器(general problem solver,GPS)<sup>[1]</sup>,这个系统将领域知识与一般的搜索控制信息相分离,采用分析当前状态和目标状态间差别的启发式方法来执行状态空间搜索,它在人工智能领域中具有非常重要的地位。

20 世纪 60 年代末,Green 提出使用定理证明的方法来构造规划,并基于此理论设计了 QA3 系统<sup>[2]</sup>,因为它是第一个面向现实规划问题提出的规划系统,所以被大多数智能规划研究人员认为是第一个真正的规划器。然而,由于当时定理证明技术不成熟,这种方法不久就被舍弃了。

20 世纪 70 年代,该领域出现了非线性规划(偏序、因果链接)方法,它在域独立规划中占有主导地位,该方法直到 20 世纪 90 年代中期仍深受欢迎<sup>[3~5]</sup>。基于此方法,1971 年 Fikes 和 Nilsson 设计了 STRIPS 规划系统<sup>[6]</sup>,它是历史上最具影响力的规划系统之一。在 STRIPS 域中,状态是命题的集合,状态描述的改变由操作从集合中添加和删除命题来实现,搜索使用类似于 GPS 的启发式方法。这一系统采用的与文字相关的术语直到今天仍在使用,引入的 STRIPS 操作符使得规划可以非常容易地进行描述和操作,原来神秘的规划问题求解从此变得明朗清晰起来。此后至 1977 年,先后出现了 HACKER、WARPLAN、INTERPLAN、ABSTRIPS、NOAH、NONLIN 等规划系统。

20 世纪 80 年代,智能规划的研究陷入了低谷,这期间仅有 SIPE、ABTweak<sup>[7]</sup>和 Prodigy<sup>[8]</sup>等智能规划系统出现。人们通过使用模态逻辑和动态逻辑从理论上对演绎规划进行了调整<sup>[9]</sup>,但这些工作对于规划算法的发展所起的作用微乎其微。1987 年,Chapman 在此基础上全面地分析了利用定理证明理论解决规划问题中出现的 key 问题——模型与规划解的对应关系,提出了著名的模态真值标准理论,并设计了规划系统 TWEAK<sup>[10]</sup>。后来随着经典命题逻辑可满足性(SAT)问题的发展,规划问题的演绎方法和基于逻辑的方法在 20 世纪 90 年代末再次得到了广泛应用。

20 世纪 90 年代,规划系统的效率得到了明显的提高,这种提高主要来源于规划领域的三种新方法。第一种方法是 1992 年 Kautz 等将规划问题求解转化为命题可满足性问题<sup>[11~13]</sup>,这种方法使得命题推理系统中的新技术可以直接应用于规划系统,从而有效地推动了规划研究;第二种方法是 1995 年由 Blum 和 Furst 提出的图规划<sup>[14,15]</sup>,这种方法第一次采用图的方式来解决规划问题,开辟了规划求解的新途径,使智能规划领域取得了革命性的进展<sup>[16]</sup>;第三种方法是 1998 年由 Bonet 和 Geffner 提出的启发式<sup>[17]</sup>,这种方法利用启发式函数来指导状态空间搜索,实践证明采用启发式的规划器比没有采用启发式的规划器表现出了更强的问题求解能力,比较典型的规划器如 FF<sup>[18]</sup>、HSP<sup>[17]</sup>、GRT<sup>[19]</sup>、AltAlt<sup>[20]</sup>、MIPS<sup>[21,22]</sup> 和 STAN<sup>[23]</sup> 都采用了启发式搜索的思想。另外,值得一提的是,两年一次的国际规划竞赛在 1998 年首次召开,再一次掀起了规划研究的热潮,大赛为规划器的优劣提供了测试平台,对智能规划的理论研究起到了巨大的推动作用。

进入 21 世纪以来,国际规划竞赛又成功召开了五届,杰出的规划器不断涌现,智能规划在理论上也取得了很多重大突破。目前,规划系统对时序和数值问题的求解能力已引起人们的普遍关注,最新的规划系统大都考虑了对资源约束的处理。由于智能规划研究的难度大、应用广,未来此领域无疑将继续保持为一个富有挑战性的国际研究热点和人工智能领域中最活跃的分支之一。

## 1.2 智能规划的应用

目前,智能规划应用于自动化系统中,使得自动化系统的灵活性、健壮性和适应性都得到了提高。其主要应用研究领域有航空航天、机器人、智能工厂和商业等<sup>[24]</sup>。

### 1.2.1 在航空航天中的应用

智能规划的一个重要应用领域是航天航空,美国国家航空航天局(NASA)投入了大量的人力和物力,用于开展关于规划理论及其应用的研究,并且将之应用于宇宙飞船等航空器上。1998 年底,美国 NASA 发射的 Deep Space One 宇宙飞船的燃料自动控制系统使用了基于 SAT 的规划方法<sup>[25~27]</sup>。以上实例表明智能规划的研究已经走出实验室应用于实际,并成为人工智能领域的研究热点。

### 1.2.2 在机器人中的应用

智能规划在机器人中的应用主要有环境的模型化描述、机器人能力的模型化描述、目标的模型化描述和实时的输入响应。机器人规划研究与其他规划研究的区别主要在于机器人处于有噪声的各种环境模型中,它通过感应器和交流信道得

到的信息都存在噪声,这样机器人就需要利用感应和执行的整合来进行直接规划。

目前主要研究领域包括如下几个方面:

(1) 路径规划:指在机器人从一个开始位置如何走到目标位置的控制机制以及要满足动态的约束。

(2) 感知规划:主要是有关如何采集外部和内部信息的规划,如辨别物体、确定机器人位置、对环境的观察。

(3) 任务规划:与传统的规划问题相似,但注重时间资源的分配与调度,且所处规划环境多存在不确定信息。

(4) 规划交流:指多个机器人之间以及人与机器人之间如何进行信息交换,包括询问信息和反馈信息两大部分。

智能规划在机器人学中具体的应用方向有环境模型的描述、控制知识的表示、路径规划、任务规划、非结构环境下的规划、含有不确定性的规划、协调操作(运动)规划、装配规划、基于传感信息的规划、任务协商与调度以及制造(加工)系统中机器人的调度。

### 1.2.3 在智能工厂中的应用

智能规划是人工智能领域中应用性很强的一个研究领域。例如,在车间作业调度(job shop scheduling)规划问题中,要考虑在有限加工资源(车床、刨床、钻床)的情况下,根据已知工件的加工顺序要求对整个车间的生产作出安排,使得加工完所有工件所需的时间尽可能少,每台机床的等待时间尽可能短。这就使得在同样设备条件下,由于作业调度规划合理并且增加了生产能力,从而为工厂带来了可观的经济效益。

智能规划在智能化工厂中的应用<sup>[28]</sup>是指包括从生产设计到生成产品、监测生产的一系列过程。它不仅包括单个企业,还可以处理多个企业之间的关系,如供应链和虚拟企业主要采用资源约束的方法进行求解<sup>[29]</sup>。

目前主要研究领域包括如下几个方面:

(1) 生产流程规划:指在一个功能化的工厂中将一个生产要求转变为一组详细的操作指令。许多基于知识工程的软件在这方面取得了较好的效果,即先将现实生产流程转化为知识库中的信息,然后再根据相应的生产要求进行转化。

(2) 生产安排规划和调度:指根据客户需求安排生产计划,即我们通常说的企业资源计划(enterprise resource planning, ERP)作业调度。

### 1.2.4 在商业中的应用

智能规划在商业中的应用更加广泛。它对原有经典规划的目标状态作了更大的扩充,目标状态可以不是明确的,而只满足某个条件。目前主要研究领域包括如

下两个方面。

### 1. 网络信息集成

网络信息集成<sup>[30]</sup>的过程是根据领域本体的内容,从互联网上采集信息并将信息集成到领域本体中,网络信息集成的实质意义是为网络信息提供一种重新组织和理解的机制。目前研究主要集中在查询规划中。查询规划可以定义为:将对信息对象框架的查询转化成只对信息源作访问的操作序列。在规划的执行过程中有时需要将信息源返回的结果合并起来分析以作出下一步的规划。所以信息的合并是查询规划中的一个重要环节。我们将信息的合并定义为:合并两个残缺信息对象的框架,即将两个属性值对集结合成一个属性值对集。合并的依据是信息源之间的相关链接。目前查询规划已经扩展到生物信息查询上,如 IBM 公司的 DiscoveryLink 系统。

### 2. 运输规划

在目前物流应用问题中,根据动态的运输要求对一组交通工具进行实时规划(包括行程调整和计划安排)。这些交通工具可以是:在一个房间里的移动机器人、在一个城市道路上的的士,甚至是经典的电梯问题。然而,在这个问题中存在着很多制约条件从而使得运输规划变得复杂,如时间限制、最终期限、运输能力、行程时间、资源优化,更多的是像交通状况、天气状况、车辆中途损坏等不可预测的事件。另外,运输规划在突发事件的大规模运输调度中也有所应用<sup>[31]</sup>,如短时间内的军事调度和部署。

另一个典型的运输规划问题是考虑在货运汽车有限的前提下,在不同地点之间运送货物。规划的输出一张车辆运输计划表,利用该表可使得汽车尽可能地满载运输,空车运行情况尽可能的少,车辆闲置的情况尽可能的少,这当然也会给运输公司带来可观的效益。美国联合太平洋铁路公司(Union Pacific Railroad, UPRR)拥有约 31000 英里(1 英里=1.609344 公里)的铁路,覆盖美国西部的 24 个州。但由于当时求解规划需要手工编码,且无法获取最优规划,因而造成巨大的浪费。Murphy 等于 1996 年 1 月为美国联合太平洋铁路公司建立了铁路自动调度系统(rail train scheduler, RTS)<sup>[32]</sup>,RTS 能够产生高效率、低费用的调度计划。美国联合太平洋铁路公司由于使用了这个调度系统,每年可节约资金 50 万美元。

## 1.3 本书概要

全书共分九章:第一章为绪论;第二章为规划表示语言;第三章为图规划;第四章为启发式规划方法;第五章为符号模型检测理论;第六章为不确定规划;第七章

为五届国际规划比赛综述;第八章为规划识别;第九章为对手规划。

本书对智能规划与规划识别进行了全面的介绍,通过分析、综合和总结国内外的研究情况,展示了智能规划研究的关键问题、主要技术和未来的发展方向。通过本书可以看出,规划与识别系统的处理能力日益增强,新方法层出不穷,理论正在得到不断完善。但是由于智能规划与识别技术所涉及的理论和应用领域十分广泛,因此对一些理论和应用的介绍还不够详细。有兴趣的读者可以查阅相关资料。

### 参 考 文 献

- [1] Ernst G, Newell A, Simon H. GPS: A Case Study in Generality and Problem Solving[M]. New York: Academic Press, 1969
- [2] Green C. Application of theorem proving to problem solving[C]//Proceedings of the First International Joint Conference on Artificial Intelligence, 1969, 219~239
- [3] Sacerdoti E D. The nonlinear nature of plans[C]//Proceedings of the Fourth International Joint Conference on Artificial Intelligence, 1975, 206~214
- [4] McAllester D A, Rosenblitt D. Systematic nonlinear planning[C]//Proceedings of the Ninth National Conference on Artificial Intelligence, 1991, 634~639
- [5] Soderland S, Weld D. Evaluating nonlinear planning[R]. University of Washington CSE, 1991
- [6] Fikes R E, Nilsson J N. STRIPS: a new approach to the application of theorem proving to problem solving[J]. Artificial Intelligence, 1971, 2: 189~208
- [7] Yang Q, TenenberG J. ABTweak: abstracting a nonlinear, least-commitment planner[C]//Proceedings of the Eighth National Conference on Artificial Intelligence, 1990, 204~209
- [8] Fink E, Veloso M. Prodigy planning algorithm[R]. Carnegie Mellon University, CMU-94-123, 1994
- [9] Rosenschein S J. Plan synthesis: a logical perspective[C]//Proceedings of the Seventh International Joint Conference on Artificial Intelligence, 1981, 331~337
- [10] Chapman D. Planning for conjunctive goals[J]. Artificial Intelligence, 1987, 32(3): 333~377
- [11] Kautz H, McAllester D, Selman B. Encoding plans in propositional logic[C]//Proceedings of the Fifth International Conference on Principles of Knowledge Representation and Reasoning, 1996, 1084~1090
- [12] Kautz H, Selman B. Pushing the envelope: planning, prepositional logic, and stochastic search[C]//Proceedings of the Thirteenth National Conference on Artificial Intelligence, 1996, 1194~1201
- [13] Kautz H, Selman B. BlackBox: a new approach to the application of theorem proving to problem solving[C]//Proceedings of the AIPS'98 Workshop on Planning as Combinatori-

- al Search, 1998, 58~60
- [14] Blum A, Furst M. Fast planning through planning graph analysis[C]//Proceedings of the Fourteenth International Joint Conference on Artificial Intelligence, 1995, 1636~1642
- [15] Blum A, Furst M. Fast planning through planning graph analysis[J]. Artificial Intelligence, 1997, 90(1-2): 281~300
- [16] Daniel S, Weld D. Recent advances in AI planning[R]. AI Magazine, UW-CSE-98-10-01, 1999
- [17] Bonet B, Geffner H. Planning as heuristic search[J]. Artificial Intelligence, 2001, 129(1-2): 5~33
- [18] Hoffmann J, Nebel B. The FF planning system: fast plan generation through heuristic search[J]. Journal of Artificial Intelligence Research, 2001, 14: 253~302
- [19] Refanidis I, Vlahavas I. GRT: a domain independent heuristic for STRIPS worlds based on greedy regression tables[C]//Proceedings of the Fifth European Conference on Planning, 1999, 347~359
- [20] Nguyen X, Kambhampati S, Nigenda R S. Planning graph as the basis for deriving heuristics for plan synthesis by state space and CSP search[J]. Artificial Intelligence, 2002, 135: 73~123
- [21] Edelkamp S. Symbolic pattern databases in heuristic search planning[C]//Proceedings of the Sixth international Conference on Artificial Intelligence Planning Systems, 2002, 274~283
- [22] Edelkamp S, Reffel F. Deterministic state space planning with BDDs[C]//Proceedings of the Fifth European Conference on Planning, 1999, 381~382
- [23] Long D, Fox M. Efficient implementation of the plan graph in STAN[J]. Journal of Artificial Intelligence Research, 1999, 10: 87~115
- [24] Russel S, Norvig P. Artificial Intelligence: a Modern Approach[M]. New Jersey: Prentice Hall, 1995
- [25] <http://www-aig.jpl.nasa.gov/public/planning/index.html>
- [26] 代树武, 孙辉先. 航天器自主运行技术的进展[J]. 宇航学报, 2003, 24(1): 17~20
- [27] Estlin T, Smith B, Fisher F, et al. ASPEN-automating space mission operations using automated planning and scheduling[C]//Proceedings of the Sixth International Symposium on Technical Interchange for Space Mission Operations and Ground Data Systems, 2002, 78~84
- [28] Nau D S, Gupta S K, Regli W C. AI planning versus manufacturing-operation planning: a case study[C]//Proceedings of the Fourteenth International Joint Conference on Artificial Intelligence, 1995, 1670~1676
- [29] Philippe L. Algorithms for propagating resource constraints in AI planning and scheduling: existing approaches and new results[J]. Artificial Intelligence, 2003, 143(2): 151~188



- 
- [30] Kwok C T, Weld D S. Planning to gather information[C]// Proceedings of the AAAI Thirteenth National Conference on Artificial Intelligence, 1996, 32~39
- [31] Wilkins D E, DesJardins M. A call for knowledge-based planning[J]. AI Magazine, 2001, 22(1): 99~115
- [32] Murphy K, Ralston E, Friedlander D, et al. The scheduling of rail at union pacific railroad[C]// Proceedings of the Fourteenth National Conference on Artificial Intelligence, 1997, 903~912