

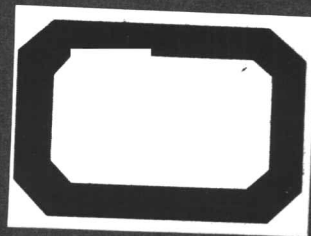
AI for GAMES and
ANIMATION
A Cognitive Modeling Approach

[美] JOHN DAVID FUNGE 著
班晓娟 艾迪明 译
涂序彦 校

**人工智能
在计算机游戏
和动画中的应用** —— 认知建模方法

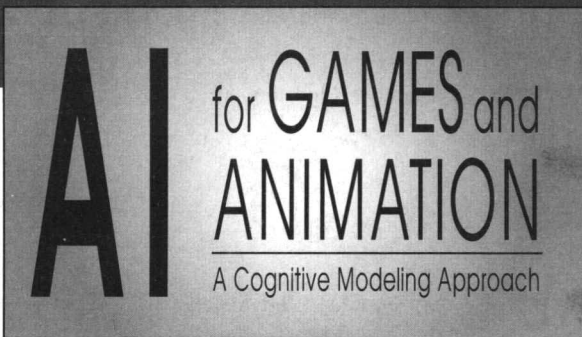


清华大学出版社



人工智能在 计算机游戏和动画中的应用

—— 认知建模方法



[美] JOHN DAVID FUNGE 著
班晓娟 艾迪明 译
涂序彦 校

清华大学出版社
北京

内 容 提 要

本书主要研究人工智能认知建模方法在计算机游戏和动画中的应用。在“情景演算”(situation calculus)中融入感知信息,采用“区间数学”(interval arithmetic)表示“不确定性”(uncertainty),提出在虚拟世界中建立自主角色认知模型的新方法;给出高层非确定性目标导向行为与低层确定性预定义行为相结合的体系结构和实时协调控制方案,基于复合行动的角色指导与行动规划方法,基于决策树的角色学习与知识获取方法,基于情景树自动搜索的行动路径优化方法等。

人工智能与计算机图形学之间的相互结合和相互影响正在迅速地发展,新的智能自主图形角色开始普及到游戏、动画、多媒体、多用户虚拟世界、电子商务和其他基于 Web 的活动领域。

智能自主图形角色建模是多方面努力的成果,从底层的几何模型、物理模型,中间层的生物力学模型到高层的行为模型。本书的主要内容集中研究角色模型“金字塔”顶层的“认知模型”(CM),利用它使角色知道如何获取知识,如何利用知识去规划行动。

在论述认知建模中某些令人感兴趣的挑战性问题时,本书采取了学术研讨的方式,目的是希望引起读者的思考和进一步研究。本书不想成为一本关于计算机游戏工具的手册。凡具有计算机科学基础知识的人都可以接受书中的主要概念,某些章节可能较难,可略过不读。这样不会影响内容的连贯性。

John David Funge

AI for GAMES and ANIMATION: A Cognitive Modeling Approach

EISBN 1-56881-103-9

Copyright©1999 A. K. Peters, Ltd.

ALL RIGHTS RESERVED.

北京市版权局著作权合同登记号 图字:01-2003-2077

版权所有,翻印必究。

本书封面贴有清华大学出版社激光防伪标签,无标签者不得销售。

图书在版编目(CIP)数据

人工智能在计算机游戏和动画中的应用:认知建模方法/(美)方约翰著;班晓娟,艾迪明译. —北京:清华大学出版社,2004

书名原文: AI for GAMES and ANIMATION: A Cognitive Modeling Approach

ISBN 7-302-08198-0

I. 人… II. ①方… ②班… ③艾… III. 人工智能—应用—电子计算机 IV. TP3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 014723 号

出版者:清华大学出版社

<http://www.tup.com.cn>

社总机:010-62770175

地 址:北京清华大学学研大厦

邮 编:100084

客户服务:010-62776969

组稿编辑:薛慧

文稿编辑:赵彤伟

封面设计:常雪影

版式设计:肖米

印刷者:北京四季青印刷厂

装订者:三河市新茂装订有限公司

发行者:新华书店总店北京发行所

开 本:185×230 印张:11 插页:4 字数:218千字

版 次:2004年5月第1版 2004年5月第1次印刷

书 号:ISBN 7-302-08198-0/TP·5917

印 数:1~3000

定 价:28.00元

本书如存在文字不清、漏印以及缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。联系电话:(010)62770175-3103 或(010)62795704

序

在我看来,方约翰博士(Dr. John David Funge)的书“AI for GAMES and ANIMATION”是国际上率先系统地研究人工智能的“认知建模方法”(cognitive modeling approach)在计算机游戏和动画中应用的专著之一。

作者研究面向游戏和动画的人工智能认知建模方法,在情景演算中融入感知信息,采用区间数学表示不确知性;在计算机游戏和动画角色模型“金字塔”顶层建立认知模型,与几何模型、物理模型、生物力学模型及基层的行为模型相结合,使目标导向行为与预定义行为相协调;在动态的虚拟世界中,创建能自动获取信息、利用知识进行推理、制订行动规划的智能自主角色;具有创新性和实用性,是“信息-知识-智能”转换的典型范例。可广泛应用于开发高水平的计算机游戏和动画,以及虚拟机器人、电子商务、网上作业和其他多媒体可视化系统。

人工智能与计算机图形学的结合与交流具有重要的学术意义和广阔的应用前景,作者在人工智能与计算机图形学之间建立了一座相互交流、相互结合的学术桥梁。一方面为人工智能在计算机游戏、动画与虚拟现实和网络世界中提供了新颖的研究平台,可开拓巨大的应用市场;另一方面,又为创建智能的、自主的、逼真的、实时的、可交互的三维动画和游戏角色提供了新模型、新算法,从而,可进一步研究开发智能游戏与智能动画的新技术、新产品,促进智能电视、智能电影等多媒体、可交互的数字艺术产业的发展。

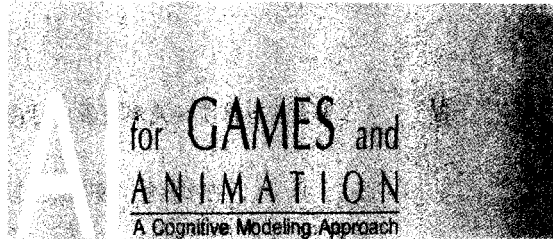
我相信,《人工智能在计算机游戏和动画中的应用——认知建模方法》这本专著在中国出版发行,将对我国人工智能理论方法研究、技术开发及其应用事业的发展做出重要的贡献。

中国人工智能学会 理事长

钟义信

2003年北京

前 言



本书的英文版于 1999 年出版，从那以后，有不少事情变了，但也有许多基本上保持原状。回顾 1999 年，那时，计算机游戏已成为一个主流产业，如今，它虽然在收入方面已超过电影业，但是还不具备像电影那样大的文化影响。然而，随着计算机游戏产业的不断发展，这种状况很可能会变化。现在，越来越多的人工智能学者意识到计算机游戏业提供的新机遇。计算机游戏不仅是人工智能的重要应用领域，而且是人工智能的高效研究平台。

利用计算机游戏进行人工智能研究的好处很多，它是一个充满难题、富有乐趣和令人激动的领域。可能比机器人更便于开展高层人工智能的研究。真实世界的机器人及其他应用系统，要解决很多低层的识别和控制问题。例如，机器人识别障碍物就是一个难题。然而，在虚拟世界中的计算机游戏，角色只要查询图像数据库，就可以解决“识别问题”。当然，还有其他许多人工智能应用领域，例如网上的智能软件、医疗诊断图像处理系统等。但是，计算机游戏中“玩家”能直接观察角色的行为，提供及时重要的反馈信息，进行动态人机交互，发出控制指令。可及时了解算法和软件的运行情况，这对于人工智能研究及应用都是十分重要的。

在计算机游戏创作和程序设计人员中，也不断有更多的人意识到人工智能的重要性，例如，人工智能的“路径规划算法”已普及到许多游戏中。已有一系列论文和著作，将各种常规的人工智能方法，以通俗的方式介绍给计算机游戏的创作和程序设计人员。在“情景演算”中，采用“区间数学”表示“不确知性”的认识建模方法，就是适用于计算机游戏的人工智能方法之一。

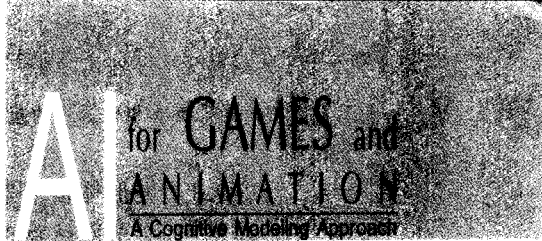
计算机图形学的进展仍然是计算机游戏的重要推动力。虽然，当愈趋近于实时而逼真的图形效果时，难度就愈大，取得突破性进展的概率也就愈低。但是，计算机游戏需要不断创新，要有新的尺度来衡量其水平，因此，人工智能大有用武之地。为了创建完美的智能角色，还有很长的征

途。所以，在理论、算法、软件和硬件方面，都有许多工作要做，有很多可能取得突破性进展的机遇。例如，统计机器学习方法近几年来取得了显著的进展。我们期待机器学习和其他人工智能的新方法在计算机游戏中发挥更大的作用。

人工智能在计算机游戏与动画中的应用前景是光明的！

John David Funge (方约翰)

2003 年美国 Palo Alto



目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 认知角色	2
1.2 领地知识	2
1.3 角色指导	2
1.4 知识获取	4
1.5 现象论	4
1.5.1 机器人.....	4
1.5.2 实用世界模型.....	5
1.5.3 离散化.....	6
1.5.4 不确定知性.....	7
1.6 实现	8
1.6.1 认知建模语言.....	8
1.7 其他模型	8
第 2 章 背景资料	11
2.1 几何模型.....	12
2.1.1 基础	12
2.1.2 几何约束	12
2.1.3 刚体运动	12
2.1.4 扩展刚体运动	13
2.1.5 关节连接体	14
2.2 运动学控制.....	16
2.2.1 关键帧	16
2.2.2 运动步骤控制	17
2.3 物理模型.....	17

2.3.1	变形体物理学	17
2.3.2	关节刚体物理学	18
2.3.3	正向动力学	19
2.3.4	反向动力学	19
2.3.5	附加的几何约束	20
2.4	非渗透性	20
2.4.1	碰撞检测	20
2.4.2	碰撞解决和静态接触	21
2.5	生物力学模型	22
2.5.1	状态空间	22
2.5.2	输出矢量	22
2.5.3	输入矢量	23
2.5.4	控制函数	24
2.5.5	控制函数综合	25
2.6	行为和认知模型	26
2.7	注释	27
第3章	领地知识表达	29
3.1	数理逻辑	29
3.1.1	符号	29
3.1.2	类别	30
3.2	情景演算	30
3.2.1	流	31
3.2.2	资历问题	31
3.2.3	效应公理	32
3.2.4	老框问题	32
3.2.5	派生问题	33
3.2.6	定义流	34
3.2.7	外因行动	34
3.3	讨论	34
3.4	注释	35
第4章	感知	37
4.1	产生知识的行动	37

4.1.1	知识流	39
4.1.2	感知	39
4.1.3	讨论	40
4.2	区间数学	41
4.3	区间取值的知识流	42
4.4	非精确感知器	43
4.5	感知正在变化的值	43
4.6	正确性	44
4.6.1	有效性和最优性	45
4.6.2	等价性	45
4.7	区间算子	48
4.8	术语知识	49
4.9	有用性	50
4.9.1	实例	51
4.10	注释	53
第5章	角色指导	55
5.1	预定义行为	56
5.1.1	反应行为规则	56
5.1.2	分层有限状态机	57
5.2	目标导向行为	58
5.2.1	情景树	59
5.3	折衷方案	61
5.3.1	前提条件公理	61
5.3.2	复合行动	62
5.3.3	实现	64
5.4	一个简单的教学用例：走迷宫	65
5.4.1	领地知识	65
5.4.2	角色指导	66
5.5	讨论	69
5.6	注释	70
第6章	学习	71
6.1	机器学习	71

6.1.1	学习效应公理	72
6.1.2	学习前提条件公理	72
6.1.3	学习行为	73
6.2	创建训练集	73
6.2.1	手工输入	73
6.2.2	前提条件和效应公理	74
6.2.3	行为	74
6.2.4	训练集大小问题	74
6.2.5	离散化	75
6.2.6	挑选属性	76
6.3	学习函数的表达	77
6.3.1	合并学习函数	77
6.3.2	决策树	79
6.4	学习算法	80
6.5	讨论	81
6.6	注释	81
第 7 章	系统整合	83
7.1	预定义行为层	83
7.2	接口	84
7.2.1	感知	85
7.3	滚动向前	87
7.4	嵌入目标导向行为	88
7.4.1	容错	89
7.4.2	基于优先权的控制系统	89
7.4.3	子目标	90
7.4.4	实时响应	90
7.5	智能群体	91
7.6	注释	92
第 8 章	认知建模语言 CML	93
8.1	前提条件公理和效应公理	93
8.2	复合行动	94
8.3	讨论	96

8.4 注释	96
第9章 电影摄影术	99
9.1 自动电影摄影机	99
9.1.1 领地知识	100
9.1.2 角色指导	102
9.2 实现	104
9.3 讨论	104
9.4 注释	105
第10章 史前世界	107
10.1 史前世界	107
10.2 效应公理	108
10.2.1 讨论	108
10.2.2 学习效应公理	109
10.3 前提条件公理	111
10.4 角色指导	112
10.5 实现	113
10.5.1 实时性能	114
10.6 讨论	115
10.7 注释	115
第11章 海底世界	117
11.1 讨论	117
11.2 概述	118
11.3 逃避行为	118
11.3.1 领地知识	118
11.3.2 角色指导	120
11.4 成功逃避	123
11.5 宠物保护	123
11.5.1 复合行动	125
11.6 多角混战	127
11.7 可见性测试	128
11.8 低层系统实现	131

11.8.1 外貌子系统	131
11.8.2 运动子系统	133
11.8.3 关节连接体	136
11.8.4 感知子系统	136
11.8.5 行为子系统	136
11.9 讨论	139
11.10 注释	140
第 12 章 结论	141
12.1 人工智能 AI 加速卡	141
12.2 机器人学	142
12.3 电子商务和 Web 娱乐	142
12.4 其他应用	142
12.5 结论	143
附录 1 关于“认知建模与人工智能”的对话	144
附录 2 Golog 语言简介	148
附录 3 中英文术语对照表	149
参考文献	152
中文版补充参考文献	162
致谢	163

第 1 章

绪 论

图 1.1 描绘的是虚拟世界中的一种动画角色。更确切地讲,它们是本书第 10 章将论述的史前世界中的恐龙角色。这里,图中特殊角色的细节并不重要,需要注意的是位于图片左上方的气泡状注释,其中的符号表示角色头脑中在想什么。这意味着角色关于它所生存和活动的虚拟世界有自己的内部模型。我们称“角色关于其世界的内部模型”为认知模型(cognitive model)。认知模型可用于计算机游戏和动画中,控制一类新的具有智能行为的自主角色。人工智能认知模型是本书要论述的主题,认知模型支配着角色对其世界的了解程度,指导

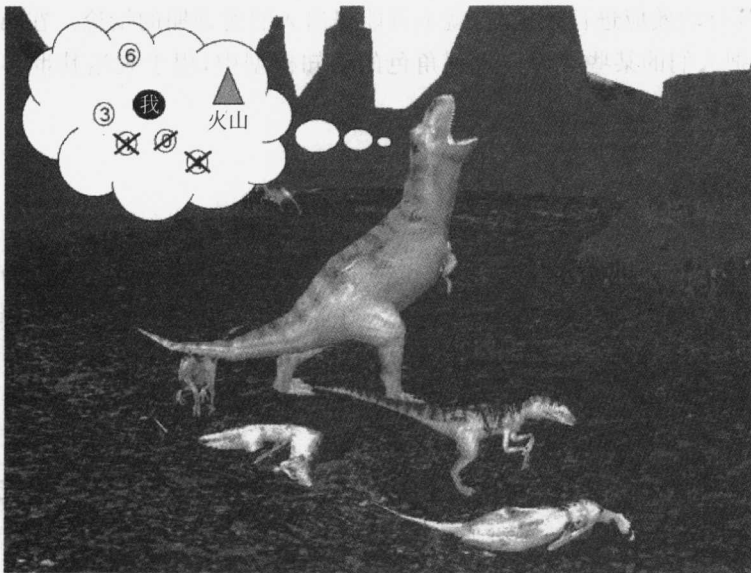


图 1.1 认知模型

如何获取知识,以及如何利用知识进行推理和规划行动。

1.1 认知角色

在计算机游戏或动画中,我们将“能够自己决定如何行动的角色”称为自主角色(autonomous character)。为了创建一个自主角色,需要关于角色行为的计算模型。同时,自主角色也需要对其世界的某些知识有明确的表达方式。在简单的情况下,知识仅由一些变量表示,这些变量的值表明角色当前所处世界的情景。

更有趣更细致的工作是,角色对其世界如何变化也要有明确表达的知识。我们称“关于角色世界的动态知识”为领地知识(domain knowledge),并称“具有领地知识的自主角色”为认知角色(cognitive character)。

1.2 领地知识

我们应特别关注如何表达角色的领地知识,否则,难以有效地对角色一系列行动所产生的效应进行推理。问题在于,当人们凭直觉思考某种行动的效应时,实际上利用了许多隐含的常识。例如,虽然有些事情是由某种行动产生的,但是我们并不明确指出,因为根据常识这些事情的发生是很自然的。而计算机动画角色一般情况下并不具有内嵌的常识;因此当它们对其行动效应进行推理时,就不可能得出人们所预期的结论。在第3章讨论的解决方案是:把人们的某些常识嵌入到角色的认知模型中,用于表达其世界的动态知识。

1.3 角色指导

我们将在第5章讨论角色指导(character instruction)问题。假设角色的行为是完全由它所采取的一系列行动所决定的,所以,问题就在于指导角色如何行动。有时候角色的行为也可能与角色控制之外的一些因素有关。例如,在计算机游戏中,当两个角色都决定向一座山跑去时,如果在路上一个角色的腿被射伤,那么,就会导致两个角色的行为有明显的差别^①。

对于普通的自主角色,因为其不具备领地知识,我们必须为其应采取的行动进行预定

^① 有趣的是,在真实世界中可能难以实现(除非要求),一个人或动物拖着一条受伤的腿在地面上爬行而另一个人或动物快乐地在地面上跑,两者具有同样的意图。在虚拟世界中,只要简单地查看角色头脑内部,看看他们试图执行什么行动,就总能发现角色的真实意图。

义。在这种情况下,称角色的行为是确定性的(deterministic)或预定义的(predefined)。

在计算机游戏中,“玩家”(player)很快就会对不具备随意操作性的预定义行为角色感到厌烦。类似地,在计算机动画中,确定性的行为导致角色行动单调乏味。在这两种情况中,我们所需要的是:角色的行为没有必要完全预先确定。也就是说,需要角色能依据任务的目标或所获得的高层指导来选择其行为。当角色的行为不是预先完全确定时,称其后续的行为是非确定性的(nondeterministic)行为。非确定性行为最简单的例子就是所有行为都不是预定义的,但是,这种随意的行为通常并不一定都有用。相反,角色应根据特定任务的目标来决定自己的行为。特别是认知角色可以利用其领地知识进行推理,估计自己可能采取的行動序列所产生的效应。一部分行动序列将达到所期望的效果,而其他则是没有价值的行为。通过将目标告诉角色,使其可以分辨哪些结果是有效的,然后,角色就可以根据目标搜索行动序列。当角色基于试图达到的目标,非确定性地选择行动时,我们称其后续行为是目标导向(goal-directed)行为。

确定性和非确定性的行为各有利弊。图 1.2 中的三个实例表示采用目标导向的非确定性行为与预定义的确定性行为的相对平衡关系。其中,由于程序设计人员对预定义行为已经预先做了许多工作,所以运行速度很快。而目标导向行为虽然比较容易设计,但是,由于程序运行时角色自己需要做许多工作,所以运行速度相对要慢些。对于“程序员花更多时间来开发编制预定义行为”与“用户花费更多的时间来等待角色使用目标导向行为”这两者之间的比例分配需要依据实际情况而定。如果是一次性的动画或快速原型系统,天平将偏向有利于减少程序员工作量的一边。



图 1.2 不同行为的相对付出

然而,事实表明在“完全预定义”与“纯目标导向”行为两种极端情况之间,存在着重要的折衷方案。这种方案是将领地知识和指导赋予角色。

$$\text{knowledge} + \text{instruction} \Rightarrow \text{behavior}$$

利用领地知识制订行为规划,指导角色如何达到目标。技术上,这仍然是目标导向的行为,因而也容易设计,但是附加的预定义启发性控制信息具有显著加快执行周期的潜力。这种方法对于主要采用目标导向行为的原型系统,形成一种渐进开发模式,原型系统可以逐渐地被提炼(通过减少非确定性),生成相应的预定义行为,从而提高运行速度。

在许多情况下,一种应用系统可能采用多种方法来生成角色行为。因为不同的方法适用于不同的问题。特别是在实现简单的、低层的确定性行为时,保留高层的、面向目标的行为规划是有意义的。当需要实时的、鲁棒的控制器时,在高层和低层之间,设置一个中间的预定义层,作为这两种行为的仲裁器是必要和有效的。第7章将论述如何将各层次各部分整合起来,以便它们能够作为一个整体系统运行。

1.4 知识获取

角色能够为自己获取最简单的一类知识,就是其世界的当前状态。我们称这种知识获取(knowledge acquisition)为感知(sensing)。在虚拟世界中,感知的必要性可能是读者理解本书时遇到的最大障碍之一。因此我们将利用下面一整段来说明这个问题。

角色可能需要的另一类知识是:虚拟世界动态的领地知识。在多数情况下,假定这类知识已经预先提供,我们更关心的是如何利用行动的概念、先决条件及所产生的效应,来表达这些知识。如何使角色自动获取这类知识是一个更吸引人的课题,然而这是一种复杂的知识获取。它包括:从各种行动效应的大量观测中提取反复出现的有规律的模式。这种知识获取称为学习(learning)。可以设想:角色不仅试图学习在自己的世界中如何行动,而且还学习其他角色在其世界里的行为。这些其他角色可能是“人类化身”(human avatar),或通过学习能够自我改进行为的角色。

1.5 现象论

现象论(phenomenology)是哲学术语,用于论述人们头脑中所关注的现象。对于计算机角色来说,它头脑中所关注的是人们为它提供的虚拟世界。但是,角色对于认知模型中没有表达的虚拟世界的现象是不会注意的。通常也有这种情况:角色认知模型中所表达的虚拟世界现象与其余计算机程序所表达的虚拟世界现象可能有所不同。

1.5.1 机器人

如果这本书是专门研究机器人的,那么,我们将额外增加一节,用于论述认知模型的定义。特别要说明:认知模型是机器人关于它所处世界的内部简化(internal simplified)模型。这是因为现实世界是如此复杂,我们不可能给机器人提供一个关于它如何工作的完美模型。当然,也有一些比较好的模型,例如,物理学中的某些模型。但是,没有一个模型在任何情况下都能够精确地预知未来。此外,即使能够提出某些关于宇宙如何运转的

重大理论,也不能期望机器人处理避免与障碍物碰撞的问题时,会携带着量子力学和相对论。

虚拟世界中计算机角色的情况又如何呢?人们能够为计算机角色提供虚拟世界的完美模型吗?正如我们将要阐明的答案:有时可以,有时却不行。但是几乎可以肯定,我们并不要求提供完美模型。

1.5.2 实用世界模型

在计算机程序中,要构建虚拟世界必须要有虚拟世界的计算模型。这种计算模型由一组规则和方程式组成,用于从世界的当前状态去推算新的状态。通过计算模型的迭代计算过程,从给定的初始条件出发,可以对所创建的虚拟世界进行正向仿真(forward simulation)。如果以同样的初始条件再次进行仿真,也将得到与上次仿真同样的结果。虚拟世界的计算模型可能涉及面很广,从只是虚拟世界其余程序的简单混合,到可用于全物理仿真的独立模块。关键在于,必须有某些可计算的模型,它们是虚拟世界实际采用的模型,我们称之为“实用世界模型”(“true” world model)。

如果想让计算机角色有完美的世界模型,那么,只能给出虚拟世界的实用世界模型。但是,通常为什么不这样做呢?有下列原因:

困难 根据程序如何组织的具体情况和目的,核实角色正在使用的实用世界模型,可能是困难的和费时的。

效率 正常情况下,角色要考虑大量可供选择的行动。如果对于每一个行动序列都需要复杂的正向仿真,那么角色的决策过程将是相当慢的。例如,假设角色从4种可用的行动组成的集合中,选择5个行动组成的行动序列。那么根据组合数学,计算机将会提供 $4^5=1024$ 种可选方案。如果使用实用世界模型,每一次正向仿真需要1/32秒,那么运行全部的可能序列要花费32秒。如果角色使用简单的认知模型,它的运行速度是前者的8倍,那么整个时间只需4秒^①。

不现实的行为 拥有实用世界模型的角色会有预见性,这可能导致它们的行为看上去很不自然。例如,有个角色想推倒一座砖塔,它具有事先计算所有砖块运动轨迹的能力,并利用计算结果来选择安全站立的位置。可以设想,当巨大的石块不断地落在角色周围,而角色却毫发无损,安静地站在那儿,看上去就像什么事也没发生一样,这是多么不现实的行为啊。当然,我们并不想要这种“超人”角色,但是希望将关于“离开下落重物多远

^① 注意,在典型的计算机游戏中,只有10%的CPU用于每一帧的决策。当然,角色不必为每一帧都制订一个新的决策,所以决策的代价可以分摊到许多帧。但即使如此,效率仍是极其重要的。