

年游戏开发畅销图书

经典案例合集

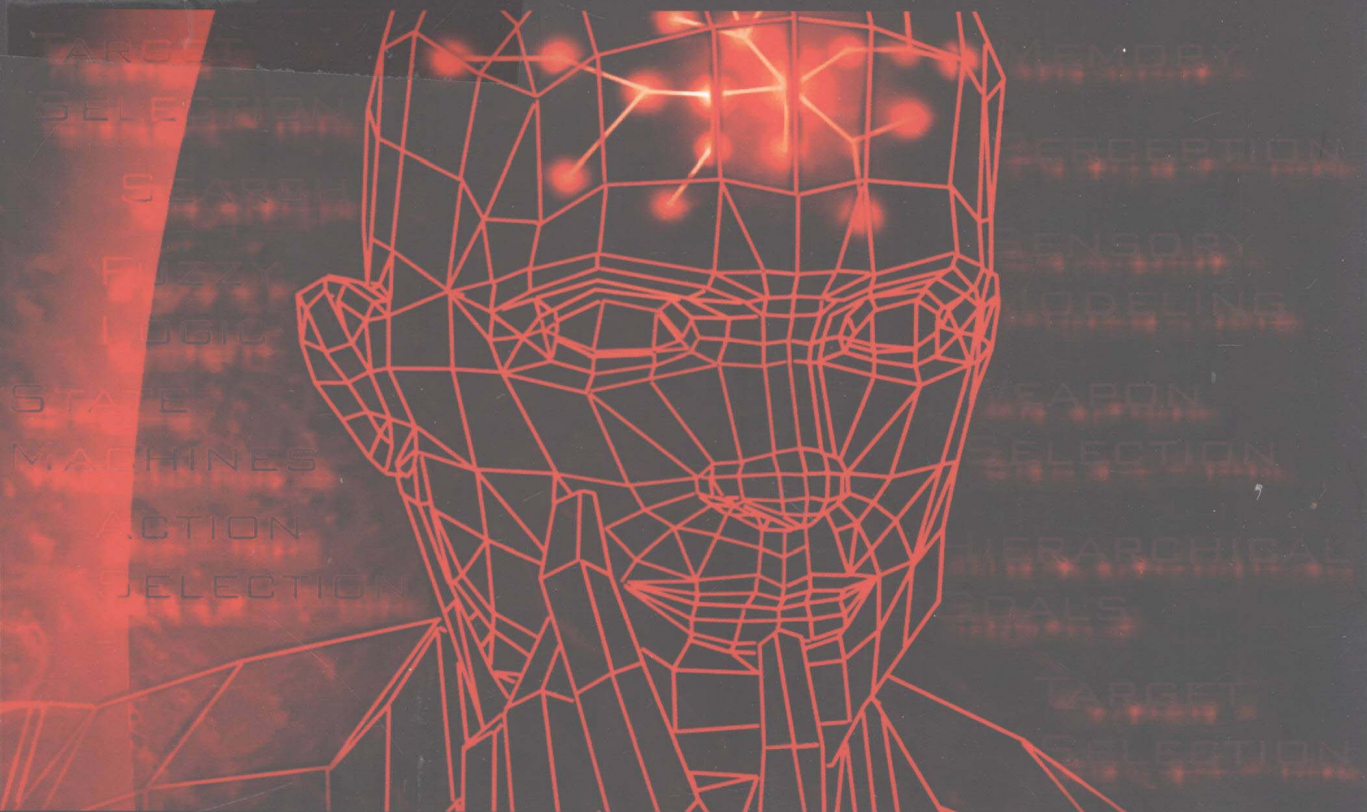
成的专业解决方案

SAMS



Game Design and Develop

游戏设计与开发技术丛书

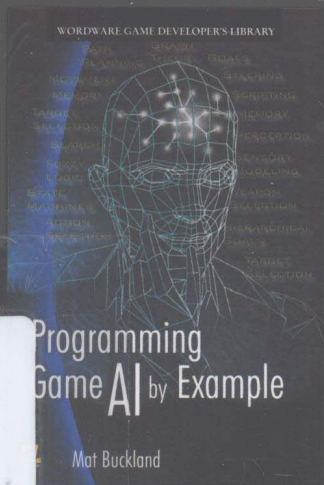


游戏人工智能编程 案例精粹(修订版)

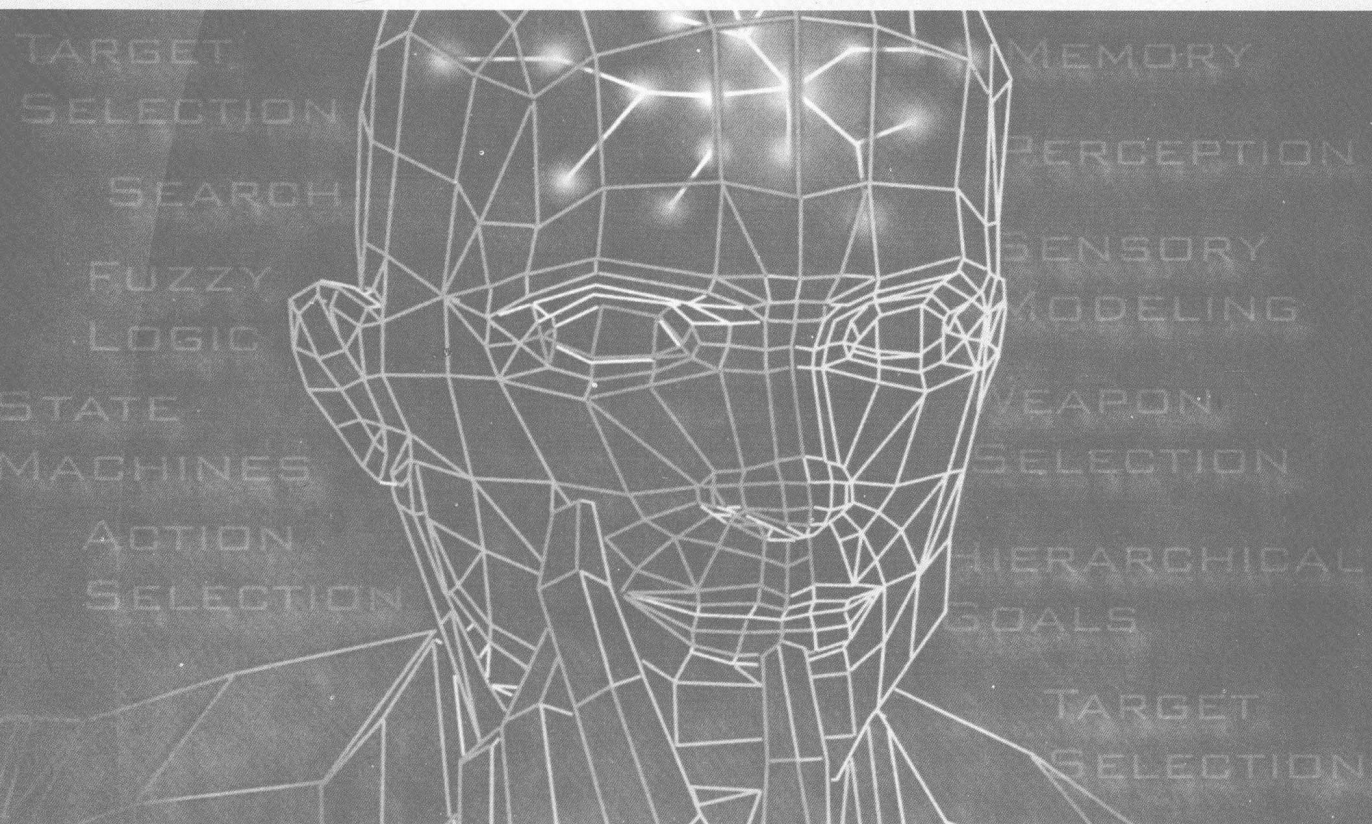
PROGRAMMING
GAME AI BY EXAMPLE

[美] Mat Buckland 著

罗岱 等 译



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS



游戏人工智能编程 案例精粹(修订版)

PROGRAMMING
GAME AI BY EXAMPLE

[美] Mat Buckland 著 罗岱 等 译

人民邮电出版社
北京

图书在版编目 (C I P) 数据

游戏人工智能编程案例精粹 / (美) 巴克兰德
(Buckland, M.) 著 ; 罗岱等译. -- 修订本. -- 北京 :
人民邮电出版社, 2012. 9
ISBN 978-7-115-29113-4

I. ①游… II. ①巴… ②罗… III. ①人工智能—应
用—游戏—程序设计 IV. ①TP311.5

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第175099号

版 权 声 明

Original English Language Edition Published by Jones & Bartlett Learning, LLC, 5 Wall Street, Burlington, MA 01803

Programming Game AI by Example by Mat Buckland Copyright © 2005 Jones & Bartlett Learning, LLC.
All Rights Reserved.

Simplified Chinese-Language Edition Copyright © 2012 by Posts and Telecommunications Press.

本书中文简体版由 Jones & Bartlett Learning, LLC. 授权人民邮电出版社独家出版。未经出版者书面许可, 不可以任何方式复制或抄袭本书内容。

版权所有, 侵权必究。

游戏人工智能编程案例精粹 (修订版)

- ◆ 著 [美] Mat Buckland
译 罗 岱 等
责任编辑 陈冀康
- ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号
邮编 100061 电子邮件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
北京艺辉印刷有限公司印刷
- ◆ 开本: 800×1000 1/16
印张: 24
字数: 702 千字 2012 年 9 月第 2 版
印数: 3 501 – 6 500 册 2012 年 9 月北京第 1 次印刷

著作权合同登记号 图字: 01-2012-5857 号

ISBN 978-7-115-29113-4

定价: 79.00 元

读者服务热线: (010)67132692 印装质量热线: (010)67129223

反盗版热线: (010)67171154

广告经营许可证: 京崇工商广字第 0021 号

内容提要

本书是游戏人工智能方面的经典之作，畅销多年。它展示了如何在游戏中利用专业人工智能技术，并针对实际困难问题，给出了强有力的解决方法。

本书主要讲述如何使游戏中的角色具有智能的技术。本书首先介绍游戏角色的基本属性（包括速度、质量等物理属性）及常用数学方法。接着，深入探讨游戏智能体状态机的实现。通过简单足球游戏实例，本书给出用状态机实现游戏 AI 的例子。在图论部分，本书详细介绍图在游戏中的用途及各种不同的图搜索算法，并用一章的篇幅讨论了游戏中路径规划是如何完成的。此外，本书还对目标驱动的智能体的实现、触发器与模糊逻辑在游戏中的运用进行了讨论。为使智能体行为更加丰富、灵活、易于实现，本书还介绍了游戏脚本语言的优点，并以 Lua 脚本语言为例进行了说明。

本书适合对游戏 AI 开发感兴趣的爱好者和游戏 AI 开发人员阅读和参考。

献 词

献给爸爸和妈妈，是你们给我买了第一台电脑，因此也要对我沉迷其中、面色苍白负点责任☺。

致 谢

非常感谢 Steve Woodcock (gameai.com) 和 Eric Martel (Ubisoft)，他们牺牲了很多的休息时间来对本书的文字和代码进行技术复审，感谢 Ron Wolf (悉尼消防队)，他自愿做我的实验豚鼠。我感谢你们。

我同样要感谢 Craig Reynolds (悉尼公司)、Jef Hannan (Codemasters)，以及 William Combs (波音公司)，感谢他们耐心地回答我的问题；同时感谢在 Wordware 的小组提供的专家意见。

还要感谢我的老朋友 Mark Drury 帮助检查数学和物理的相关章节。

最后，特别地感谢并拥抱我的搭档也是我最好的朋友——Sharon，感谢她花费了许多的时间进行校对，每次我总是茫然地盯着她动着的嘴唇而我的思想已经溜到另一个星球了。我真不知道她是如何忍受我的。

Mat Buckland 是游戏人工智能方面的专家。他富有激情地在游戏公司开发过游戏,而同时也是一个有创造力的自由程序员和游戏人工智能咨询顾问。他对游戏人工智能非常感兴趣,并颇有研究。在游戏 AI 方面,他已经有几本书面世,而现在你手里的这一本《游戏人工智能编程案例精粹(修订版)》,则是其中令人夺目的一本,它有如下几个特点。

- 实例丰富:书中介绍的各种游戏 AI 技术,都提供了示例的代码。你可以在自己的计算机上运行示例代码;本书对代码的解释和分析,可以使你更加深入地理解代码背后的基本原理和相关算法的特点及适用范围。
- 深入浅出:无论 AI 还是游戏程序设计,它们都是非常复杂的技术。游戏 AI 则跨越了这两个领域,并延展出它自身的特点。本书的设计,可使你从一个温暖舒适的山脚旅馆出发,最终抵达白云飘飘的山顶。虽然你偶尔也可能会迷路,但是,你会发现作者始终抓住了技术的精髓,同时又用简洁的方式去实现它。
- 语言幽默:技术书籍总是充满了各种奇怪的符号和晦涩的术语而让人望而却步。而你手里的这本书却有些不同。作者语言幽默,即使在叙述最为复杂的问题时,他也不会忘记给你开个小玩笑。因此,阅读本书的过程一定会非常愉快。当然,更重要的是,读完之后,你会发现自己已经学到了不少东西。

对于游戏开发爱好者来说,这是一本非常好的入门读物,你可以从质点和标量开始,一直学到用程序去实现一个 4 人足球游戏。而对于那些资深的游戏设计师和游戏程序开发人员,读一下这本书也很有益处,因为解决一个问题总是有很多办法,看了这本书,或许可以给你的项目开发带来灵感。对于那些从事游戏开发培训的教师,本书的游戏实例和相关技术的论述也组织得非常好。总之,对游戏实际制作感兴趣,那么这本书你就值得一读。

本书由北京林业大学数字媒体专业教师承担翻译工作。其中第 1 章、第 2 章由北京林业大学的付慧翻译;第 3 章、第 4 章由 EA 上海分部的黄凯锋翻译;第 5 章~第 7 章由北京林业大学的罗岱翻译;第 8 章~第 10 章由北京林业大学的蔡娟翻译。我们在翻译过程中力求准确表达原意,同时保持

原著作者的幽默诙谐的行文风格。同时，我们所有译者也互相审阅了译稿，力求将错误减到最小。

我们由衷希望读者轻松愉快地阅读本书，并有所收获。由于时间仓促及译者的水平有限，本书的错误和疏漏之处在所难免，恳请读者批评指正。

罗 岱

2012 年 8 月

拉开窗帘，关上电视，手机也关机。听着背景音乐。泡一杯你最喜欢的“程序员的饮料”，给自己找一个既好又舒适的椅子，最喜欢的笔记本就放在旁边。你将要开始学习了。

欢迎阅读《游戏人工智能编程案例精粹（修订版）》，我必须承认当 Mat 在 2003 年关于这本书再次与我联络时，我很吃惊。我问我自己：“他已经很好地在他的著作中论述了所有的新技术……还有什么好做的呢？”

当我们交换 E-mail 时，Mat 说他有一个简单的愿望，希望继他的第一本书《游戏编程的人工智能技术》之后，出一本具有完全不同侧重的书。尽管多种技术已经探索了更加“新奇的”生物技术，而游戏人工智能程序员可能还在想要知道如何才能不要陷入到计算机科学的琐碎细节中，Mat 想用实例重点介绍什么技术是人工智能程序员在他们的每日工作中实际使用的。新的技术和新的方法总是会被考虑，当然是在这样做是有意义的时候。但是开发者们必须总是具备随手可得的基础知识，才能建立起对任何一个游戏人工智能方法来说都坚实的基础。这就是本书宗旨之所在。

游戏人工智能的重要性浪潮

游戏人工智能在过去的几年里经历了一场平静的革命。它不再是当游戏产品的最后期限迫近，并且发行商在下一个重大假日之前紧催游戏发货时，大部分开发者仅仅为了项目的收尾而考虑的事情。现在游戏人工智能是有计划的，开发者特意地将它做成和游戏开发过程中与图形或音乐效果一样重要的部分。市场上流行着各种各样的游戏，而开发者正在寻找任何他们能找到的优势，来使他们的游戏被关注。一个如实地塑造了聪明的敌人或者非真人玩家角色的游戏都会自动地被注意到，不论它看起来怎么样。

通过相关于这个课题迅猛增长的书目，通过出席游戏开发人工智能圆桌会议（GDC）的人士的踊跃程度，通过互联网上游戏人工智能网站的爆炸式增长，我们已经注意到这一点。在几年以前，只有几本书涉及到人工智能技术术语，而现在有几打了。在几年以前，我们无法解除能找到一群对 GDC

感兴趣、并热衷于谈论游戏人工智能工程技术的人来填满一个单间。而现在我们不得不谢绝一些人参加，因为无法在会议中安排下所有的人。过去在因特网上只有很少（非常少的）数量的网面上专注于游戏人工智能，而现在超过了我可以计算的数目；当我写到这里时，在 Google 的一次快速搜索中显示出有数百个网页全部或部分专注于这个题目。令人惊奇，绝对令人惊奇。

每一个开发者，无论是访问这些网页的人，参加圆桌会议的人，还是买这本书的人，都会对相同的事情感兴趣。

- 其他开发者使用的是什么技术？
- 其他开发者认为什么技术最有用？
- 不同的游戏在人工智能上能做什么？他们都是胡说吗？每个人都做同样的事情吗？还有改善的空间吗？
- 其他人都撞上了什么绊脚石，而我了解后就不会重蹈复辙？更重要的是，其他人开发的解决方法（了解了它们我就不用开发了）是什么？
- 如何能使自己的人工智能更加智慧？
- 最重要的是，如何使自己的人工智能更为有趣？

这本书就是为那些寻找可靠的、实际的例子以及可靠的、实际的答案的人写的。这儿有的不仅是纯理论；更多的是有真实的、可用的案例的实用技术。

至于时间，哈？

工程师写给工程师

对一个好的软件工程师来说，最重要的事情是知道技术是怎样工作的以及背后的原理。理论是伟大的，但是演示和代码更好；一个开发者可以很快地深入到代码中，发现为什么一些东西起作用了，知道如何改写以便更好地处理自己的问题。这正是游戏人工智能开发者在每次 GDC 人工智能圆桌会议上捶墙而求的问题。而本书正好明确地传递了这类信息。

从最初的章节覆盖了“坚固”的有限状态机（FSM），到介绍探讨更为“奇异的”的模糊逻辑（FL）领域的章节，作者编写了一本教科书，它既是一本方便的参考书，也是可以为时间享用的学习资源。开发者们所应用的每一个主要的技术都在这里得到展示，使用一个新的基于智能体的人工智能引擎的环境（称作 **Raven**）来显示一个给定的方法是如何以及为什么工作的。基本的反应行为是最明显的，而作者非常详尽地进行了描述，使用代码显示每一个进化的迭代，并且通过演示来帮助理解。

然而，作者不像许多书中所作的那样就此止步。实例逐渐深入，包括比较有深度的方法，例如层次化的基于目标的智能体，将这些技术放在 **Raven** 引擎的环境中，并且基于前面给出的例子来说明它们是如何大大地改善了游戏的人工智能的。这些都是在今天的市场中仅仅在一部分游戏中应用的技术。但是如果使用正确的话，它们可以使游戏的人工智能非常出色。

这本书将会向你展示为什么它们会产生不同的效果以及如何使用它们。Mat 甚至给出了比在他的例子中所使用的方法更好的应用提示,并且总结了所论述的技术的潜在发展。为此目的,他还提供了必要的实践练习题,在特定技术的改进等方面对感兴趣的开发者加以指点,帮助记者专注于如何在他们自己的游戏中运用这些技术。总之,代码是编不完的,现在只是完成得够用了。

综上所述,我想你一定会发现这是一本非常有用的书。如果你正在找一本兼有可靠的代码和实用的技术的书,找一本概括了游戏人工智能开发者实际使用的技术和方法的书,那么这正是你要找的书。

阅读愉快!

Steven Woodcock
ferretman@gameai.com

你手中拿着的这本书的目标是为你的游戏人工智能学习提供一个坚实的实践基础，让你带着兴奋和乐观的心情接受新的挑战。人工智能是一个庞大的题目，因此不要希望读完这本书时，你就成为一个专家了，但是你将学会创建适合于各种游戏类型主要行为的、具有有趣的和挑战性的人工智能的必要技术。此外，你将对游戏人工智能的关键领域具有一个精深的理解，为你将进行的深入的学习提供一个坚实的基础。而且，让我告诉你，学无止境！

作为一个好的游戏人工智能程序员，不仅仅要知道如何使用技术。尽管单个的技术是重要的，但是如何把各种技术协同起来共同工作，对人工智能开发过程来说更为重要。为此，这本书花费了大量的时间，使你经历设计智能体的整个过程，设计能够玩团队运动游戏（Simple Soccer）的智能体和一个死亡竞赛类型枪战（Raven）的智能体，清楚地证明每种技术是如何应用和互相协调的。Simple Soccer 和 Raven 为进一步的实验提供了方便的测试平台。此外在许多章节中的结论中还提出了进行深层次开发的建议。

理论人工智能与游戏人工智能

理论研究的人工智能与计算机游戏中所使用的人工智能之间有着重要的区别。理论研究分成两派：强人工智能和弱人工智能。强人工智能领域所关心的是试图创建一个系统，可以模仿人类的思想过程；弱人工智能领域（今天更为普遍的）致力于应用人工智能技术解决现实世界的问题。然而，这两个领域趋向的重点是用最佳的方式解决问题，而不太关心硬件或时间限制。例如，一些人工智能研究者热衷于让一个仿真在他们拥有 1 000 个处理器的 Beowulf 计算机机群上运行几个小时、几天甚至数周，只要得到一个好的结果，这样他们就可以写一篇相关的论文。当然这是一个极端的情况，但是你明白我的意思。

相反，游戏人工智能程序员必须在有限的资源下工作。可用的处理器周期和内存数量从平台到平台是变化的，但是时常人工智能这个家伙会被忘记，就像 Oliver 拿出他自己的碗，想多乞讨一些。这样的结果常常是为了得到可

接受的性能等级而做出的妥协。此外，成功的游戏（赚到所有的钱的游戏）有一件事非常成功：他们是娱乐游戏者（或者他们有电影版权©）。

因此，人工智能必须是娱乐的，而为了达到这个要求，时常要设计成是次优的。毕竟，大部分的玩家很快就会被一个总是“鞭打”他们的人工智能搞得既失望又沮丧。为了变得令人愉快，一个人工智能必须要表现出好的战斗力，但是要输得多赢得少。它必须使玩家感到它是聪明的、狡猾的、可爱的和有力的。它必须使玩家从椅子上跳起来喊：“拿起它来，你这个笨蛋！”

智能的假象

但是这个神秘的我们称为人工智能的东西是什么？关于游戏人工智能我可以肯定这个观点，就是如果玩家相信与他对战的智能体是有智慧的，那么它就是有智能的。就这么简单。我们的目标是设计可以提供智能假象的智能体，别无他求。

因为智能幻觉是主观臆想的，有时候无需付出太多努力。例如，Halo 的人工智能设计者发现他们的玩家测试者很容易就会被欺骗，只是简单地通过增加杀死智能体所需要的击中点的数目，测试者就会认为人工智能体更具智能。在一次测试期间，他们让智能体很容易就被杀死（低的击中点数）；结果是 36% 测试者认为智能体太简单了，而 8% 的人认为智能体是非常具有智能。在下次测试期间，智能体被设置成较难杀死（更高的击中点数）。只是这样小小的改变之后，没有测试者认为智能体太简单，而 43% 的人认为智能体是非常具有智能！这是一个令人惊异的结果，而且清楚地显示了游戏测试在整个游戏开发周期中的重要性。

试验表明，只要给玩家一些可见的或可听到的关于智能体正“想”什么的线索，就可以相当可观地加强一个玩家对游戏智能体智能水平的感觉。例如，如果玩家进入了一个房间并且惊动了智能体，它应该是震惊的举动。如果你的游戏是一个秘密行动，就像贼，并且一个游戏角色听到一些可疑的声音，然后它应该开始向周围看并且可能咕哝几句，例如“那是什么？”或者“有人在吗？”甚至一些简单的例如使一个智能体的头随着相邻的智能体的移动而转动的设计，也会大大地提升玩家对人工智能的感知程度。

但是你必须很小心，当设计你的人工智能的时候不能让幻觉的伪装出差错，因为一旦让玩家对游戏中角色的信任感消失游戏就会变得无趣味了。这是会发生的，如果人工智能看起来行动愚蠢（跑进墙里，卡在角落里，对明显的刺激没有反应）或者被发现“欺骗”（穿墙透视，仅用比人类玩家更少的金子就能建立单位，500m 外听到针落地的声音），因此你必须为避免发生这些缺陷中的任何一个而花费更多的心血。

关于代码

为这本书所编写的源代码作了必要的一些折中。对初学者，代码必须格式化，以便每一

行能符合打印页的宽度。这看起来是常识，但是我看过很多书的格式是可怕的，到处都是很大的缺口和空间，当代码迂回曲折地布满页面时非常难读。不像你的集成开发环境 IDE，打印页具有固定的宽度，打印的代码必须适合与之相符。底线就是：代码的每行必须有一个 82 个字符的最大宽度。限制代码行到这个长度是一种挑战，特别是当同时使用标准模板库 STL 和模板来描述类和变量名的时候。由于这个原因，我不得不使几个名字比我本来希望的要短，但是，无论如何这是必需的，对于注释部分我决定慷慨些。你可能也注意到了在代码的一些部分有大量的临时变量。这样做的原因不是为了使代码更容易阅读就是为了分开长的代码行使它们符合 82 个字符的限制，或者两者都有。

伴随这本书的代码和演示程序可以从 www.jblearning.com/catalog/9781556220784 下载。然后单击 **Buckland_AISource.zip** 和 **Buckland_AIExecutables.zip**。

附录 C 说明了如何建立你的开发环境以编译项目。

熟能生巧

如同所有的技术一样，你使用人工智能技术和设计人工智能系统的练习越多，你就能得到越好的结果。那些因为已经进入到游戏人工智能的开发中而买了这本书的人，可以很快地从你学到的东西开始——因为你们已经拥有了最好的测试台供你们练习。但是，对读者中现在还没有处在一个项目中的人，我在大部分章节的末尾都包含了“练习”，供你们亲手实践。通过创建一个小的单机的例子，或者通过修改或建立在 **Simple Soccer** 或 **Raven** 代码项目的基础上，这些都将会帮助你们对所学到的知识进行实验。

对本书的赞誉

“本书提供了针对困难问题的强有力的解决方法，这使它变得引人注目。Mat 引导读者为真实的游戏建立一个足够牢固的基础。这本书对这个领域内的任何新人来说是必备书，同时对老练的专业人士也颇有启示。我真希望我 8 年前就能读到它！”

——Jeff Orkin, 人工智能设计师, Monolith Productions 公司,《无人永生 2》和《超能将警组》

“……许多真正有用的信息被出色地组合起来，以一种不会使我的头脑遗漏的方式整合在一起。”

——Gareth Lewis, 项目经理, Lionhead 工作室,《黑与白 2》

“在 Mat 的书的每一章中，在他将一个新的思想扩展成充分成形的解决方法，并且引入详尽全面的代码和清楚表达的实例之前，会向读者渐进地介绍基本的游戏智能技术。这本书的基调对读者来说并不复杂，它给编程初学者提供机会来钻研游戏智能编程的基础，可以通过直接从理论上实现他们自己的系统或者在提供的代码实例上进行扩展来达到理解。一旦每个独立的技术被充分地理解了，本书就进一步把这些技术概念组合应用到几个完整的游戏环境，使读者能深入理解在一个成拱形的游戏体系结构中相互作用的各个系统之间的关系。”

——Mike Ducker, 人工智能程序员, Lionhead 工作室,《神话》

“通过使用容易遵循和具有良好描述的实例，这本书向你展示了如何利用专业人工智能程序员使用的大多数技术。我全力向初学者推荐本书，并且它对富有经验的编程者来说也是极佳的参考！”

——Eric Martel, 人工智能程序员, Vbisoft 公司《孤岛惊魂》(Xbox)

“本书对于游戏编程的新手、中级程序员，甚至专家来说都是一本极好的书——复习熟悉的基础知识并不会伤害你的自尊，不是吗？这本书简明地覆盖了所有的重要领域，包括从基础的数学和物理学，直到图论和 Lua 脚本，用需要的工具来武装每一个程序员，使他们能创造一些非常老练的智能体行

为。这种类型的书是较为罕见的，游戏人工智能编程案例精粹在软件工程学方面也是扎实精深的，它用实例编码展示了大家所熟悉的设计模式在游戏中的应用。我毫不犹豫地推荐本书给每一位程序员。它是一本极佳的读物，也是给思想的一个极佳的跳板。”

——Chris Keegan，技术主管，Climax 工作室（Solent 分部）

第 1 章 数学和物理学初探	1
1.1 数学	1
1.1.1 笛卡尔坐标系	1
1.1.2 函数和方程	2
1.1.3 三角学	8
1.1.4 矢量	13
1.1.5 局部空间和世界空间	19
1.2 物理学	20
1.2.1 时间	20
1.2.2 距离	21
1.2.3 质量	21
1.2.4 位置	21
1.2.5 速度	21
1.2.6 加速度	23
1.2.7 力	27
1.3 总结	29
第 2 章 状态驱动智能体设计	31
2.1 什么是有限状态机	32
2.2 有限状态机的实现	33
2.2.1 状态变换表	34
2.2.2 内置的规则	35
2.3 West World 项目	37
2.3.1 BaseGameEntity 类	38
2.3.2 Miner 类	38
2.3.3 Miner 状态	39
2.3.4 重访问的状态设计模式	40

2.4	使 State 基类可重用	45	3.5	组行为（Group Behaviors）	85
2.5	全局状态和状态翻转 （State Blip）	46	3.5.1	Separation（分离）	86
2.6	创建一个 StateMachine 类	47	3.5.2	Alignment（队列）	87
2.7	引入 Elsa	49	3.5.3	Cohesion（聚集）	88
2.8	为你的 FSM 增加消息功能	50	3.5.4	Flocking（群集）	89
2.8.1	Telegram 的结构	51	3.6	组合操控行为（Combining Steering Behaviors）	90
2.8.2	矿工 Bob 和 Elsa 交流	52	3.6.1	加权截断总和（Weighted Truncated Sum）	91
2.8.3	消息发送和管理	52	3.6.2	带优先级的加权截断累计 （Weighted Truncated Running Sum with Prioritization）	91
2.8.4	消息处理	56	3.6.3	带优先级的抖动 （Prioritized Dithering）	93
2.8.5	Elsa 做晚饭	57	3.7	确保无重叠	94
2.8.6	总结	61	3.8	应对大量交通工具：空间划分	96
第 3 章	如何创建自治的可移动游戏 智能体	63	3.9	平滑	99
3.1	什么是自治智能体	63	第 4 章	体育模拟（简单足球）	102
3.2	交通工具模型	64	4.1	简单足球的环境和规则	102
3.3	更新交通工具物理属性	67	4.1.1	足球场	104
3.4	操控行为	68	4.1.2	球门	105
3.4.1	Seek（靠近）	68	4.1.3	足球	106
3.4.2	Flee（离开）	69	4.2	设计 AI	110
3.4.3	Arrive（抵达）	69	4.2.1	SoccerTeam 类	112
3.4.4	Pursuit（追逐）	70	4.2.2	场上队员	118
3.4.5	Evade（逃避）	72	4.2.3	守门员	131
3.4.6	Wander（徘徊）	72	4.2.4	AI 使用到的关键方法	136
3.4.7	Obstacle Avoidance （避开障碍）	74	4.3	使用估算和假设	144
3.4.8	Wall Avoidance （避开墙）	78	4.4	总结	144
3.4.9	Interpose（插入）	80	第 5 章	图的秘密生命	146
3.4.10	Hide（隐藏）	81	5.1	图	146
3.4.11	Path Following （路径跟随）	83	5.1.1	一个更规范化的描述	147
3.4.12	Offset Pursuit（保持 一定偏移的追逐）	84			