

Flexsim

现代物流系统仿真应用

马向国 刘同娟 蒋荣芬 苏辉辉 © 著



中国发展出版社
CHINA DEVELOPMENT PRESS

Flexsim

现代物流系统仿真应用

马向国 刘同娟 蒋荣芬 苏辉辉 〇 著



中国发展出版社
CHINA DEVELOPMENT PRESS

图书在版编目 (CIP) 数据

Flexsim 现代物流系统仿真应用/马向国等著. —北京: 中国发展出版社, 2016. 7

ISBN 978 - 7 - 5177 - 0498 - 0

I. ①F… II. ①马… III. ①物流—系统仿真—应用软件
IV. ①F253.9

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 092242 号

书 名: Flexsim 现代物流系统仿真应用

著作责任者: 马向国 刘同娟 蒋荣芬 苏辉辉

出版发行: 中国发展出版社

(北京市西城区百万庄大街 16 号 8 层 100037)

标准书号: ISBN 978 - 7 - 5177 - 0498 - 0

经 销 者: 各地新华书店

印 刷 者: 北京明恒达印务有限公司

开 本: 700mm × 1000mm 1/16

印 张: 19.75

字 数: 380 千字

版 次: 2016 年 7 月第 1 版

印 次: 2016 年 7 月第 1 次印刷

定 价: 45.00 元

联系电话: (010) 68990625 68990692

购书热线: (010) 68990682 68990686

网络订购: <http://zgfcbs.tmall.com>

网购电话: (010) 68990639 88333349

本社网址: <http://www.developress.com.cn>

电子邮件: 121410231@qq.com

版权所有 · 翻印必究

本社图书若有缺页、倒页, 请向发行部调换

前言

系统仿真方法可以用于解决生产制造、物流、服务等行业中的诸多问题。随着现代可视化建模技术的发展和普及,仿真软件设计的智能性和友好化程度得到极大的提升,仿真技术的应用领域更加广泛,对使用者的技术要求逐渐降低。

现代物流的发展急需一批可以将仿真实理论与仿真应用相结合的人才,以满足不同物流系统领域的需求。本书将系统仿真的基本理论与现代仿真软件 Flexsim 的应用相结合,通过 12 个仿真案例的建模与优化,来完成对仿真软件不同功能的讲解。

本书按照三条脉络铺垫展开。第一部分介绍了系统仿真和典型物流系统的理论知识,并结合两个案例对手工仿真与计算机仿真进行比较。第 1 章介绍了系统仿真的基础知识。第 2 章介绍了物流系统的相关理论及三个典型手工仿真案例。第 3 章介绍了 Flexsim 软件在物流系统仿真中的应用,并讲解了两个手工仿真与计算机仿真的对比案例。第二部分通过三个实验案例对 Flexsim 的基本建模知识进行逐一讲解。第 4 章介绍了三个简单实验案例仿真与优化。第三部分通过对六个典型物流系统的仿真建模,在进一步巩固 Flexsim 建模知识的同时,完成对物流系统各环节仿真知识的学习。第 5 章介绍了混合流水线系统的理论知识和典型案例的建模、仿真与优化。第 6 章介绍了仓储系统的理论知识和典型案例的建模、仿真与优化。第 7 章介绍了分拣系统的理论知识和典型案例的建模、仿真与优化。第 8 章介绍了配货系统的理论知识和典型案例的建模、仿真与优化。第 9 章介绍了自动化立体仓库的理论知识和典型案例的建模、仿真与优化。第 10 章介绍了现代物流配送中心的理论知识和典型案例的建模、仿真与优

化。之后,为满足读者对进一步提升仿真技能的需求,本书引入现代铁路物流园区建模与仿真案例,向读者展示了 Flexsim 中级建模的相关知识,希望起到学习、引导的作用。第 11 章介绍了现代铁路物流园区的理论和沈阳东站的建模、仿真与展示。

本书由马向国、刘同娟、蒋荣芬、苏辉辉编著,张旭凤、姜旭教授审阅了书稿并提出了许多宝贵的修改意见。本书在编写过程中还得到了陕西科技大学机电学院刘昌祺教授以及北京物资学院物流学院领导、同事的热情支持,在此一并表示感谢。同时感谢物流工程专业研究生马晓霞、杨岚清、詹晓辉、葛莉莉在本书编写过程中给予的协助。

本书的出版还得到了中国发展出版社的大力支持,在此特别感谢责任编辑为本书所做的多方面耐心、细致的工作。

由于时间仓促,加之作者水平和精力有限,许多内容未能完善和进一步深入,错漏之处在所难免,恳请读者批评指正。欢迎通过电子邮箱 mxg105@163.com 与作者进行更多的交流和探讨。本书采用的 Flexsim 软件版本是 Flexsim 6.0 版,适用于 Flexsim 4.0 以上各版本的参考与学习。购买本书可获赠教学课件、Flexsim 7.0 DEMO 版软件以及本书中的所有案例模型。

目 录

第 1 章 系统仿真基础	1
第 1 节 系统、模型、仿真概述	2
第 2 节 系统仿真	12
本章思考	24
第 2 章 物流系统及典型手工仿真案例	25
第 1 节 物流系统概述	26
第 2 节 物流系统仿真概述	28
第 3 节 典型物流系统及其手工仿真案例	31
本章思考	58
第 3 章 Flexsim 软件在物流系统仿真中的应用	59
第 1 节 Flexsim 的功能特点	60
第 2 节 Flexsim 仿真环境及关键技术	63
第 3 节 Flexsim 建模的相关概念	77
第 4 节 Flexsim 仿真模型建立	83
第 5 节 手工仿真与计算机仿真	94
本章思考	113

第4章 简单实验模拟	115
第1节 实验一:条件中断与产品装盘仿真优化	116
第2节 实验二:生产线产品入库与出库仿真优化	122
第3节 实验三:配送中心库存控制仿真优化	126
本章思考	130
第5章 混合流水线系统建模仿真与分析	131
第1节 混合流水线系统概述	132
第2节 混合流水线系统仿真案例	135
本章思考	147
第6章 仓储系统建模仿真与优化	149
第1节 仓储概述	150
第2节 仓储设施简介	157
第3节 仓储系统仿真案例	163
本章思考	173
第7章 分拣系统建模仿真与优化	175
第1节 分拣系统	176
第2节 自动分拣机	182
第3节 分拣系统仿真案例	187
本章思考	195
第8章 配货系统建模仿真与优化	197
第1节 配货作业概念和流程	198
第2节 配货作业管理	203
第3节 配货系统仿真案例	206
本章思考	215

第9章 自动化立体仓库建模仿真与优化	217
第1节 自动化立体仓库概述	218
第2节 自动化立体仓库仿真案例	224
本章思考	242
第10章 现代物流配送中心建模与仿真	243
第1节 现代物流配送中心的概述	244
第2节 现代物流配送中心仿真案例	254
本章思考	279
第11章 现代铁路物流园区建模与仿真	281
第1节 现代铁路物流园区概论	282
第2节 现代铁路物流园区的布局	285
第3节 沈阳站西货场仿真	288
本章思考	299
参考文献	300
参考答案	301

第 1 章

系统仿真基础



第1节 系统、模型、仿真概述

一、系统概述

半个多世纪以来，系统（System）作为一个研究对象（Object），在国际上引起了很多学者的注意，并吸引了众多领域的专家从事相关研究和应用工作。

1. 系统来源

系统概念来源于人类长期的社会实践。人类认识现实世界的过程，是一个不断深化的过程。客观世界中一切事物的发生、发展，都是对立与统一的，科学也不例外。在古代，自然科学界往往把世界看成一个整体，寻求共性和统一，但由于缺乏观测和实验手段，加之科技理论又很贫乏，所以对很多事物的了解只能流于表面，其结果往往是“只见森林，不见树木”。当科技发展到一定程度后，理论和工具更加完备，人们对世界的认识有了新的更深入发展。但同样受限于当时的科技水平和世界观，研究者往往只看到部分现象而不能综观整体，以致“只见树木，不见森林”。

人们将这些分散的、对个体或局部的认识联系起来，进而探索事物的全局和整体，以及构成整体的各个部分之间的相互联系，最终形成了科学的系统观。

2. 系统定义

系统（System）一词源于拉丁文“Sytema”，表示群体、集合等。系统的定义有很多，比较具有代表性的是我国著名系统工程学家钱学森给出的：“把极其复杂的研究对象称为系统，即是由内部相互作用和相互依赖的若干组成部分（称为子系统）结合而成的，具有特定功能的有机整体集合，而这个整体又是它所从属的更大的系统的组成部分。”在美国的韦氏（Webster）大辞典中，系统一词被这样解释：“有组织的或被组织化的整体；结合着的整体所形成的各种概念和原理的综合；由有规则的相互作用和相互依存的形式组成的诸要素集合等等。”在日本工业标准（JIS, Japanese Industrial Standards）中，系统被定义

为“许多组成要素保持有机的秩序，向同一目的行动的集合体”。一般系统论的创始人 L. V. 贝塔朗菲 (L. V. Bertalanffy) 把系统定义为“相互作用的诸要素的综合体”。美国著名学者阿柯夫 (Ackoff, R. L.) 认为：“系统是由两个或两个以上相互联系的任何种类的要素所构成的集合。”

一般我们采用如下系统定义：系统是具有特定功能的、相互间具有有机联系的许多要素 (Element) 所构成的一个整体。

3. 系统特性

从各种各样的系统定义中可以看出，系统拥有 6 种共性：集合性、相关性、层次性、整体性、目的性、环境适应性。

(1) 集合性

系统的集合性表明，系统是由两个或两个以上可以相互区别的要素或子系统所组成的，而要素是构成系统的最基础部分。例如，一个计算机系统一般是由中央处理机 (CPU)、存储器、输入与输出设备等硬件组成，同时，还包含操作系统、程序设计、数据库等软件，是一个由多种要素组合而成的完整系统。一般而言，物流系统由运输系统、装卸搬运系统、仓库系统、配送系统、物流信息管理系统等各子系统组成。

(2) 相关性

系统的相关性表明，组成系统的要素是相互联系、相互作用的，这些联系之间具有特定的关系。

(3) 层次性

系统的层次性表明，系统可以被分解为一系列的子系统，这些子系统存在一定的层次结构，这是系统空间结构的特定形式。系统的层次性主要表现在它是其构成要素的上级，同时它也是其上级系统的子系统。系统的层次结构表述了不同层次子系统之间的从属或相互作用关系。不同的层次结构中存在着动态的信息流和物质流，构成了系统的运动特性，为深入研究系统层次之间的控制与调节功能提供了条件。

(4) 整体性

系统的整体性表明，系统是由两个或两个以上可以相互区别的要素，按照作为系统所应具有的综合整体性而构成的；系统要素之间的联系与相互作用，使系统作为一个整体具有特定的功能或效能，这是各要素个体所不具备的。系统整体性说明，具有独立功

能的系统要素以及要素间的相互关系（相关性、层次性）是根据逻辑统一性的要求，协调存在于系统整体之中的，即任何一个要素都不能离开整体去研究，要素间的联系和作用也不能脱离整体的协调去考虑。系统不是各个要素的简单集合，而是一种非加和性的关系，否则它就不会具有作为整体的特定功能。脱离了整体性，要素的机能和要素间的作用便失去了原有的意义，研究任何事物的单独部分都不能得出有关整体的结论。系统的构成要素和要素的机能、相互联系要服从整体的目的和功能，并在此基础上展开各自及相互之间的活动。这些活动的总和形成了系统整体的有机行为。在一个系统整体中，即使每个要素都并不很完善，但它们可以通过协调、整合构成具有良好功能的系统；反之，即使每个要素都是良好的，但若作为整体却不具备某种良好的功能，也就不能称之为完善的系统。

（5）目的性

系统的目的性要求系统具有达到一定目的的特定功能，这是区别此系统与彼系统的标志。系统的目的一般用更具体的目标来体现，一般说来，比较复杂的系统都具有不止一个目标，因此需要通过指标体系来描述系统的目标。为了实现系统的目的，系统必须具有控制、调节和管理的功能。管理的过程也是系统有序化的过程，可使它进入与系统目的相适应的状态。

（6）环境适应性

系统的环境适应性表明系统应具备反馈与改进的功能。任何一个系统都存在于一定的物质环境之中，因此，它必然要与外界环境产生物质的、能量的和信息的交换。外界环境的变化会引起系统内部各要素之间的变化。系统必须适应外部环境的变化，否则就没有生命力。能够经常与外部环境保持最优适应状态的系统，才是理想的系统。

4. 系统分类

根据不同的标准，系统可被划分为不同的种类。

（1）根据变化特性，系统可分为离散系统和连续系统

离散系统是指变量只在某个离散时间点集合上发生变化的系统；连续系统是指状态变量随着时间变化而连续改变的系統。

实际上，很少有系统是完全离散或完全连续的，但对于大多数系统来说，由于某一类型的变化占据主导地位，因此可把它们归为该类型。

(2) 根据物理特征, 系统可以分为工程系统和非工程系统

工程系统是航空、航天、核能、电气、机械、热工、水力等工程技术系统, 它们通常是用微分方程描述的连续系统。虽然从原则上讲这类系统是允许在实际系统上进行试验的, 但是利用仿真技术对它们进行分析研究, 既可以保证安全又能节省大量费用。

非工程系统是指社会、经济、交通、管理、农业、生态环境等系统, 它们属于离散系统。这类系统往往不允许在实际系统上进行试验, 如经济系统中一般不允许随意地人为改变销售或供给, 以避免对市场产生冲击。因此, 对这类系统的研究就更依赖于仿真技术的帮助。

(3) 根据形成方式, 系统可分为自然系统和人工系统

自然系统形成的主体是自然界, 而人工系统形成的主体是人类, 主要是指人类自身对自然界或人类进行创造后产生的系统。

(4) 根据实体性质, 系统可分为实体系统和概念系统

实体系统是可见的, 而概念系统是不可见的, 需要借助一定的实体才能体现出来, 例如虚拟的网络系统。

(5) 根据开放程度, 系统可分为孤立系统、封闭系统和开放系统

孤立系统指与环境之间既无物质交换也无能量交换的系统; 封闭系统指与环境之间仅有能量交换没有物质交换的系统; 开放系统指与环境之间既有物质交换也有能量交换的系统。

(6) 根据运行性质, 系统可分为静态系统和动态系统

这两类系统的主要区别在于系统是否处于不断的变化中。

二、模型概述

模型是人们分析系统的有效媒介, 可用于对系统的主要组成部分及其间的主要关系等方面进行研究。系统模型主要用于三个方面: 分析和设计实际系统; 预测或预报实际系统某些状态的未来发展趋势; 对系统实行最优控制。

1. 模型定义

模型是对所研究的系统、过程、事物或概念的一种表达形式, 也可指根据实验或图样, 放大或缩小而制作的样品, 一般是用于展览、实验、铸造机器零件等的模子。

系统模型是对实际系统的一种抽象,反映了系统内部要素间的关系,是人们对客观世界反复认识与分析,经过多级转换、整合等相似过程而形成的最终结果。系统模型代表了系统某些方面的本质特征以及内部要素与外界环境的关系,是系统本质的表述。一般而言,系统模型具有与系统相似的数学描述形式或物理属性,经过运算可导出研究与分析系统的信息。系统模型只是模型中的一种,本书中出现的模型均指系统模型。从某种意义上说,模型是系统的代径,是对系统的简化,但在简化的同时,模型应足够详细以便可从模型的实验中获得与实际系统相关的有效结论。

一般而言,系统模型需满足以下三个条件:

- ①模型必须是对现实系统的一种抽象,它是在一定假设条件下对系统的简化。
- ②系统模型必须包含系统中的主要因素。模型的要素不可能与实际系统的要素一一对应,但至少应包含那些决定系统本质属性的重要因素。
- ③为了进行定量分析,模型中必须反映出各主要因素之间的逻辑关系和数学关系,使模型对系统具有代表性。

建模就是建立模型。建立系统模型的过程又称模型化。建模是研究系统的重要手段和前提。凡是用模型描述系统的因果关系或其他相互关系的过程,都属于建模。

2. 模型特性

由实际系统构造出一个模型的任务,主要包括两方面的内容:一是建立模型结构,二是提供数据。建立模型结构主要是确定系统的边界,鉴别系统的实体、属性和活动。提供的数据应能够确定活动中的各个属性之间的关系。另外,在构建模型结构时,要满足两个前提条件:细化模型研究的目的;了解有关特定的建模目标与系统结构性质的关系。

一般来说,系统模型的结构具有如下特性:

- ①相似性。模型与所研究的系统应具有相似的特征和变化规律,即真实系统与模型之间具有相似的物理属性或数学描述。
- ②简单性。从实用的观点来看,由于在建模过程中忽略了一些次要因素和某些非可测变量的影响,因此所建立的模型已是一个被简化了的近似模型。在实用的前提下,通常模型越简单越好。
- ③多面性。对于由许多实体组成的系统来说,由于其研究目的不同,故其所要收集的与系统有关的信息也不同,因此用来表示系统的模型并不是唯一的。由于不同的分析者所

关心的是系统的不同方面,或者由于同一分析者要了解系统的各种变化关系,因此对同一个系统,可以产生与不同层次相对应的多种模型。

3. 模型分类

按结构形式,系统模型可分为实物模型、图式模型、模拟模型和数学模型。

(1) 实物模型

实物模型是对现实系统的放大或缩小,它能表明系统的主要特性和各个组成部分之间的关系。如桥梁模型、电视模型、城市模型、建筑模型、风洞实验中的飞机模型等。这种模型的优点是比较形象,便于研究问题;缺点是不易说明数据之间的关系,特别是不能揭示组成部分的内在联系,因此不能用于系统优化。

(2) 图示模型

图示模型是用图形、图表、符号等把系统的实际状态加以抽象的表现形式,如网络图(层析顺序、时间与进度等)和物流图(物流量、流向等)。它是在对满足约束条件的目标值的比较中,选取较好值的一种方法。它在选优时只能起辅助作用。当维数大于2时,该种模型作图的范围就受到限制。图示模型的优点是直观、简单;缺点是不易优化,易受变量因素数量的限制。

(3) 模拟模型

用一种原理上相似而容易求解或控制处理的系统代替或近似描述另一种系统,前者称为后者的模拟模型。它一般有两种类型:一种是可以接受输入并进行动态模拟的可控模型,如对机械系统的电路模拟,可用电压模拟机械速度、用电流模拟力以及用电容模拟质量;另一种是用计算机和程序语言表达的模拟模型,例如对物资集散中心站台数设置模拟、对组装流水线投料批量的模拟等。通常用计算机模型模拟内部结构不清或成因复杂的系统。

(4) 数学模型

数学模型是指对系统行为的一种数量描述。把系统及其要素的相互关系用数学表达式、图像、图表等形式抽象地表示出来,就是数学模型。它一般可分为确定型和随机型、连续型和离散型两类。

4. 建模原则

对于同一个实际系统,人们可以根据不同的用途和目的建立不同的模型。由于所建模

型只是实际系统原型的简化,故既不可能也没必要把实际系统的所有细节都列举出来。一个理想的模型应该既能反映实体的全部重要特性,又易于处理,即原则上要满足如下5个条件:

①清晰性。一个复杂的系统是由多个子系统构成的,因此对应的系统模型也是由许多子模型构成的。系统模型的构成部分应清晰易见。

②相关性。模型中应该包括系统中与研究目的有关的那些信息。虽然包含与研究目的无关的信息对模型的描述没有不良影响,但会增加模型的复杂性,加大求解时的工作量,所以应被排除在外。

③准确性。建立模型时应考虑所收集的、用以建立模型的信息的准确性,包括确认所应用的原理和理论的正确性及应用范围,以及检验建模过程中针对系统所做假设的正确性。例如在建立工厂设施规划与运输系统模型时,应将运输工具视为一个三维实体而不能作为一个质点,因为它的长度和宽度影响了运输通道的布局。

④可辨识性。模型结构必须具有可辨识的形式。可辨识性是指系统模型必须有确定的描述和表示方式,且在这种描述和表达方式下,与系统性质相关的参数必须有唯一确定的解。若一个模型结构中具有无法估算的参数,则该系统就不具备可辨识性,此结构就无实用价值。

⑤集合性。能够把一些个别实体组成更大实体的程度,即模型的集合性。这是建立模型还需要进一步考虑的因素。例如对物流与供应链系统的研究中,除了可研究每个物流中心的物流细节和规律外,还可以综合计算将多个物流中心构建成一个供应链系统的效能。

5. 建模步骤

建构模型需要想象力和技巧,从方法论的角度,可总结出建模的5个步骤。

第一步:形成问题。在明确目标、约束条件和外界环境的基础上,规定模型描述哪些方面的属性,并预测可能的后果。

第二步:选定变量。按前述影响因素的分类,筛选出适合的变量。

第三步:确定变量间的关系。定性分析各变量之间的关系及对目标的影响。

第四步:确定模型的结构及参数辨识。建立各变量之间的定量关系,主要的工作是选择合适的表达形式。数据来源是该步骤的难点,有时由于数据难以取得,不得不返回第二

步甚至第一步。

第五步：检验模型的真实性和有效性。模型构建过程中，可用统计检验的方法和现有统计数字对变量之间的函数关系进行检验。模型建构后，可根据已知的系统行为来检验模型的结果。若用结果解释现实世界尚能令人接受，不致相悖，便要判断它的精确程度和模型的应用范围。若精度比期望的低，则需弄清原因，是否是原先的设定错误或忽略了不该忽略的因素。

经过以上5个步骤，模型便可在实际中进行应用了。但应把每次应用都当成是对模型的检验，确保误差在合理范围内。有些模型，特别是社会经济系统类的模型，难以用实际检验；另一些模型虽可检验，但花费成本太高或需要特殊条件。这时，个人经验的重要性就凸显出来了，须依据对原型对象的经验来判断现有模型的真实性和有效性。不过，在能够实际试验的场合还是应尽量进行实验，不经过试验的建模过程总是不完整的。

三、仿真

系统仿真是指利用人为控制的环境条件，改变某些特定的参数，观察模型的反应，研究真实系统的现象或过程。当前，仿真技术已经成为分析和研究各种复杂系统的重要工具，广泛应用于工程领域和非工程领域。

1. 仿真的定义

仿真（Simulation）是对真实过程或系统在整个时间内运行的模仿，它利用模型复现实际系统中发生的本质过程，并通过对系统模型的实验来研究存在的或设计中的系统，又称模拟。在研究与分析系统时，对随着时间变化的系统特性，通常是借助模型来进行研究。在某些情况下，若所研究的模型足够简单，则可以用数学方法如线性代数、微积分、数学规划等表示并求解，这些解通常由一个或多个称为系统性能测度的数学参数组成。但是许多真实系统是非常复杂的，无法用数学关系、数学方法来求解，这时利用仿真就可以像观察和测试真实系统那样，从仿真模型中得到系统性能随时间而变化的情况，从仿真过程中收集数据，得到系统的性能测度。所以，仿真包括两个过程：建立模型和对模型进行实验与运行。

2. 仿真的作用

总的来说，管理系统仿真扮演着管理试验手段的角色。仿真模型已经在描述、设计和