

工业工程系列教材

G O N G Y E G O N G C H E N G

上海汽车工业教育基金会 组编

生产系统建模与仿真

● 孙小明 编著

上海交通大学出版社

上海汽车教育基金会资助
工业工程系列教材

生产系统建模与仿真

孙小明 编著
上海汽车教育基金会 组编

上海交通大学出版社

内 容 提 要

本书以制造型生产企业为核心,阐述了离散事件建模与仿真技术在生产企业分析中的应用原理和方法,旨在使读者对计算机仿真技术在生产系统的研究和分析方法上有一个正确的认识。全书共分九章。首先说明了计算机仿真技术在生产系统分析中的作用和原理,然后针对生产系统组成的基本元素进行了建模方法的讨论,接着介绍了仿真输入、输出和系统评价的方法,最后系统地介绍了一个生产系统的仿真和分析实例。全书介绍了 Arena、Witness 两套离散事件仿真软件。

本书可作为高等院校有关生产企业管理课程的教材或主要参考书,也可供工业企业企业管理干部进修与培训用。

图书在版编目(CIP)数据

生产系统建模与仿真/孙小明编著. —上海:上海交通大学出版社,2006
ISBN 7-313-04280-9

I. 生… II. 孙… III. ①企业管理:生产管理—建立模型②企业管理:生产管理—计算机仿真
IV. F273

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 122695 号

生产系统建模与仿真

孙小明 编著

上海交通大学出版社出版发行

(上海市番禺路 877 号 邮政编码 200030)

电话:64071208 出版人:张天蔚

常熟市华通印刷有限公司印刷 全国新华书店经销

开本:787mm×960mm 1/16 印张:10.75 字数:199 千字

2006 年 1 月第 1 版 2006 年 1 月第 1 次印刷

印数:1~3050

ISBN7-313-04280-9/F·601 定价:17.00 元

版权所有 侵权必究

工业工程系列教材编委会

主任： 翁史烈

委员：（以姓氏笔画为序）

宋国防 胡宗武 徐克林 钱省三

诸葛镇 秦鹏飞 韩正之

总 序

作为市场经济产物的工业工程学科,在美国的发展已有 100 年的历史,它在西方国家的工业化进程中和改善经营管理、提高生产率等方面都发挥了很大的作用。近 10 多年来,随着商业竞争的加剧,国际市场和全球化制造态势的形成,企业和商家纷纷寻求进一步改善经营管理的方法,试图建立自己的核心竞争力,以便在剧烈的竞争中取胜。企业和商家的这些努力是与管理专家的研究结合在一起的,这样就大大地推动、丰富了工业工程和管理学科的发展和内容的更新。

虽然在上世纪三四十年代,交通大学等一些大学曾设立过与工业工程类似的学科,但解放后随着计划经济的实施,这个学科也就取消了。这样,这个学科在我国的研究和应用就停滞了 30 多年。改革开放后,在原机械工业部的积极推动下,我国从 1989 年开始引进工业工程的管理方法,并在一些企业试行,取得了明显的经济效果。西安交通大学、天津大学等高校率先于 1992 年开始招收工业工程专业的本科生。随后,我国一些大学陆续设立这个专业,至今全国已有 70 多所高等学校设有这个专业;这个专业的硕士和博士生也在培养之中。但是,正由于我们起步较晚,无论在工业工程的应用还是人才培养等方面都落在先进国家的后面。

上海汽车工业(集团)总公司是一个现代化的大型企业集团,集团公司所属的许多生产厂不但拥有现代化的设备,而且也努力推行现代的管理方法。在实践中,他们深感缺乏既懂工程又懂管理的复合型人才。为了广泛普及现代的管理方法,公司的高层领导把员工的教育和培训摆到了重要的地位。他们除经常举办短期训练班普及现代管理知识外,还委托上海交通大学连续举办了几届“工业工程”专业工程硕士班。为了解决硕士班的教材,他们引进了部分国外最新教材,供上课老师使用。

为了支持工业工程专业人才的培养,解决工业工程专业的教材问题,由上汽集团及所属企业捐资组建的“上海汽车工业教育基金会”,从 2000 年起就开始研究资助这个专业教材的编写和出版问题。经上海汽车工业教育基金会与上海交通大学出版社共同策划,并先后与上海交通大学、同济大学、东华大学、复旦大学、上海大学和上海理工大学等校工业工程系老师座谈、讨论,于 2001 年 8 月正式成立了“工业工程系列教材编委会”,制订了系列教材编写和出版计划。按照这个计划,系列教材共计 14 种,由 2002 年起分 3 年出版。基金会拨出专款资助系列教材

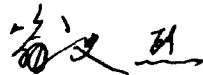
的编写和出版。我们对上海汽车工业教育基金会给予工业工程专业教育的支持表示感谢。

在确定系列教材的选题时,我们主要考虑了以下原则:一是特色,要有工业工程学科的特色,选题应确属工业工程学科的课程,对一些可与其他学科共用的教材则不再列入;二是精选,编写内容应精选该学科公认的、经典的基本原理和方法,以及先进的管理理念,对一些尚有争论的观点则不予论述;三是实践,遴选的编著者应对该课程有丰富的教学实践经验,并在教材中尽可能地反映企业解决工业工程问题的实际案例。经过认真研究,我们确定了下列选题:工业工程——原理、方法与应用,生产计划与控制,物流工程与管理,现代制造企业管理信息系统,以上为第一批;人因工程,质量管理,决策支持系统,复杂系统解析,工程管理的模糊分析,制造系统建模与仿真,以上为第二批;工程经济学,工作研究,项目管理,工业工程计算方法(暂定名),以上为第三批。

参加这套系列教材编写的是上面提到的这几所大学的老师们,他们都是相应课程的任课教师。他们根据自己教学过程中反复修改过的讲稿,又参考了国内外的相关文献,在较短的时间内完成了教材的编写。他们精选教材内容,配以实例讲解,使学生易于掌握;同时,他们也力图将最近几年工业工程的最新研究成果做简要的介绍,使学生接触本专业的前沿。但是,由于编写时间比较仓促,编写者们的经验又各不相同,本系列教材的质量和水平一定是参差不齐的,也一定会存在一些缺点,希望能得到读者的批评和指正。特别要说明的是,在我们筹划这套系列教材的时候,“高等院校工业工程专业教材编审委员会”组编的7种教材尚未出版,当我们的编者拿到这7种教材时,我们的第一批4本书稿已形成初稿,但编者仍然会从中得到启迪。

在工业工程系列教材第一批教材正式出版之际,我们深感欣慰,并对辛勤工作的老师们表示感谢。祝愿工业工程学科在教育界、工程界同仁的关怀下茁壮成长。

工业工程系列教材编委会主任
中国工程院院士



2002年8月

目 录

第1章 概 论	1
1.1 引言	1
1.2 生产系统建模与仿真的基本概念	2
1.2.1 系统	2
1.2.2 系统模型	3
1.2.3 系统仿真	4
1.2.4 系统仿真的若干术语	5
1.2.5 系统举例	6
1.2.6 系统仿真的类型	9
1.2.7 连续系统与离散系统的区别	12
1.2.8 仿真的应用	16
1.3 生产系统仿真模型的建立	17
1.4 仿真研究的步骤	20
习题	22
第2章 生产系统仿真用的概率统计	25
2.1 随机变量、概率函数、随机数	25
2.1.1 确定性活动与随机活动	25
2.1.2 离散型随机变量	25
2.1.3 连续型随机变量及其密度函数	26
2.1.4 随机变量的数字特征	27
2.2 均匀连续分布随机数及其生成	29
2.2.1 $(0,1)$ 均匀分布随机数	29
2.2.2 计算机产生随机数的方法	31
2.2.3 随机数的统计检验	33
2.3 各种离散分布随机数的产生	36
2.3.1 (a,b) 均匀的离散分布	36
2.3.2 非均匀的离散分布	36

2.4 非均匀连续分布随机数及其产生	38
2.4.1 反函数法(逆变法)	38
2.4.2 舍去法	44
习题	46
第3章 排队系统的建模与仿真	47
3.1 排队论的基本概念	47
3.1.1 排队系统的组成	47
3.1.2 到达模式	48
3.1.3 服务机构	49
3.1.4 排队规则	50
3.1.5 队列的度量	52
3.1.6 排队模型的分类	53
3.2 到达时间间隔和服务时间的分布	53
3.2.1 定长分布	54
3.2.2 泊松分布	54
3.2.3 爱尔朗分布	55
3.2.4 一般相互独立随机分布	56
3.2.5 一般随机分布	56
3.2.6 正态分布	56
3.3 排队系统的分析	57
3.3.1 单服务台 M/M/1 模型	57
3.3.2 多服务台 M/M/c 模型	62
3.3.3 M/M/c 和 M/M/1 模型比较	65
3.4 排队系统的仿真	67
习题	72
第4章 库存系统建模与仿真	73
4.1 单一产品的库存系统	73
4.2 库存系统模型	75
4.3 仿真程序设计	77
4.4 仿真的输出和讨论	83
习题	84

第 5 章 加工系统	85
5.1 顺序分配法	85
5.2 链式存储分配	86
5.3 简单加工系统建模与仿真	91
5.4 一般加工系统的建模与仿真	94
5.5 仿真的输出和讨论	96
习题	100
第 6 章 输入数据的分析	101
6.1 数据的收集	102
6.2 分布的识别	103
6.2.1 直方图	103
6.2.2 分布的假设	104
6.3 参数估计	105
6.3.1 样本均值和样本方差	105
6.3.2 估计量	106
6.4 拟合度检验	106
6.5 相关性分析	107
6.5.1 单变量线性回归	107
6.5.2 回归显著性检验	108
6.5.3 多变量线性回归	109
习题	111
第 7 章 仿真的输出分析	112
7.1 引言	112
7.2 性能测度及其估计	113
7.2.1 点估计	114
7.2.2 区间估计	114
7.3 终态仿真的输出分析	117
7.4 稳态仿真的输出分析	119
7.4.1 稳态仿真中初始条件所引起的偏差	119
7.4.2 稳态仿真重复运行方法	119
7.4.3 在稳态仿真中样本量与准确度的关系	120

7.4.4 在稳态仿真中区间估计的批平均值	122
习题	123
第8章 仿真方案的比较与评价	124
8.1 两个仿真系统方案的比较	124
8.1.1 具有相等方差的独立采样	126
8.1.2 具有不相等方差的独立采样	126
8.1.3 相关采样	127
8.2 k 个仿真系统方案之间的比较	128
8.3 用以估计不同的设计方案效果的统计模型	129
8.3.1 试验统计设计的目的	129
8.3.2 单因子完全随机化试验设计	130
8.3.3 两因子的析因设计	133
习题	135
第9章 生产系统仿真的应用实例	136
9.1 Witness 仿真软件	136
9.2 生产系统建模与仿真应用	141
9.2.1 生产系统简介	141
9.2.2 模型的构建	143
9.2.3 模型仿真及其结果分析	156
参考文献	162

第1章 概 论

1.1 引言

生产系统是一个为了生产某一种或某一类产品,综合生产工艺、生产计划、质量控制、人员调度、设备维护、物料控制等各种技术为一体的复杂系统。因为它受到市场需求、原料供应、生产环境、生产状态等多方面因素的制约,所以,生产系统适应生产需要变化的对策一直是生产管理人员试图研究和努力解决的一个重要问题。由于这些因素的不确定性,生产投入方法与产品的产出之间的特征关系并不是一个可解析的、简单的数学函数或数学模型关系,也正是这一原因,企业为了对生产系统的协调和优化往往采用的是一种实际尝试的方法,因此,企业花费了大量的人力、物力、财力和时间,造成了大量的浪费,甚至耽误了市场商机和企业发展的良好时机。

对于一般的研究系统如结构系统、机械系统等,由于其学科的单一性,随着相关学科技术的发展、传统建模技术的发展,人们一般都可以对其特征进行理论描述或实验描述,从而通过建模这一环节,揭示系统的物理特征或运动特征。然而生产系统涉及生产技术与生产管理的建模,所建立的模型呈现出系统的随机性和系统输入的随机性,因此,系统的求解难以运用经典的系统求解方法来解决。随着计算机技术的迅速发展,计算机仿真技术为生产系统的预测、求解带来了广泛的发展空间。

美国的相关研究部门和工业界联合研究完成的《21 世纪制造业发展战略报告》中提出,2020 年前世界制造业面临的 6 大挑战和 10 大关键技术中,10 大关键技术的第 5 项是“企业建模及仿真(Enterprise Modeling And Simulation)”。世界先进国家的生产企业将生产仿真研究作为研究生产系统的一个重要手段,如英特尔、戴尔、马士基等,在企业扩建和改造的前期、新产品生产的投入之前,都会运用计算机仿真技术对企业将要采用的生产系统进行仿真和预测,为生产系统的调度决策、生产能力预测、生产设备的合理匹配、生产线的效率提高提供量化依据,为生产系统的早日投入正常生产运行起到出谋划策的作用。

建模和仿真是紧密结合的一体化技术:要仿真,首先必须针对研究的对象,我们称其为“系统”,建立能够反映该系统特征的数学或图形化模型,然后运用求解

模型的方法来寻找所建模型的解,最后通过对解的分析来解决实际问题。而对于复杂的系统(如管理系统),这种模式的求解往往较为困难,只有通过高速运算的计算机才有可能对所建立的模型进行时间历程(系统运作过程)的运算、实验或演示,这就是计算机仿真。生产系统研究与其他单一专业技术问题的研究方法不同,管理问题的研究很难用一简单的解析解进行描述。对管理问题进行实验、比较或优化,可选的方法只能是仿真。正因为这个原因,随着现代管理理论研究和实践活动的蓬勃开展,计算机仿真技术的发展就非常迅速,国内外都有大量的文献发表。

上述分析为我们给出了这样的一个概念:生产系统仿真是通过对生产系统的建模,建立一个能够反映生产系统研究本质的模型,并通过对生产系统进行时间历程的运行,从而观察、记录系统模型几个相关状态量的变化。如生产系统中较为关心的生产设备的利用率问题,针对这个问题我们首先建立系统中每一台设备的模型,而设备的利用率定义为:在一个有效作业时间段中,设备的工作时间之和除以该时间段的总时间,即:

$$\lambda = \frac{\sum t_i}{T} \quad (1-1)$$

式中, λ ——设备利用率;

t_i ——在总时间段中,设备第 i 次被利用的时间;

T ——总时间段的时间值。

模型的观察量就是设备在 T 这一时间段中,何时工作,工作的持续时间多长。从观察量分析:该观察量为一离散的状态量。这一点与管理问题的仿真不同,管理问题的仿真主要是离散事件的系统仿真。

1.2 生产系统建模与仿真的基本概念

1.2.1 系统

“系统”这一概念是随美籍奥地利生物学家创立的“一般系统论”而开始流行起来的。系统论是“从更一般的意义上制定出适用于各种系统的原理和模型,而不讨论它们的特殊种类、元素及其所包含的各种力。”

所谓系统是由诸多元素组成的,且元素之间是相互作用的,是通过某种逻辑关系组合在一起的一个集合体。研究系统就是研究系统中各个元素是怎样相互作用、相互影响的,这样的作用 and 影响会产生怎样的结果。由于科学技术所研究

的内容非常广泛,因而系统的内涵非常丰富,类型也非常多。大到宇宙空间,小到DNA结构,都可以把它们抽象为“系统”,予以研究;系统可以由不同的实体构成,也可以是概念的或逻辑的系统;也就是说,系统不仅可以是有形的物理系统,也可以是无形的概念系统,或是这两者的组合。例如,生产系统中生产设备、生产工件等就是有形的物理系统,而支撑生产系统运行的生产调度计划、物料控制策略等是抽象的、逻辑的,它是一种无形的逻辑系统。

在这一定义中,我们可以注意到这样一个概念,系统是由元素构成的,且这些元素之间是相互关联的,也就是说,系统中存在元素,且不存在独立的元素,或者是不存在一部分元素与其他元素无关联关系的元素。这是这一定义中十分重要的概念。

例 1-1 某一机械加工车间拥有下列设备:普通车床 8 台、铣床 4 台、外圆磨床 2 台、专用检验机 1 台,而该加工车间加工多种产品,其中 A 产品的加工涉及:普通车床 3 台、铣床 1 台、外圆磨床 1 台、专用检验机 1 台,如今需要运用生产系统建模与仿真技术对 A 产品的生产过程进行仿真研究。

首先需要明确的就是所建模型的范围,这就是系统的界定,从研究的对象来看,该系统的研究对象是 A 产品的生产过程,也就是说,我们应当将涉及与 A 产品生产相关的生产设备、生产资料作为构成系统的元素予以描述,而与 A 产品生产无关的生产设备及生产资料就没有必要进行建模,也不应该是系统中的元素。所以,针对该问题的系统就是由生产 A 产品的普通车床 3 台、铣床 1 台、外圆磨床 1 台、专用检验机 1 台以及生产物资所构成的一个系统。注意,不是加工车间中的所有设备都是系统建模的对象。

本书讨论的是生产系统,针对的是生产活动所涉及的相关元素的集合体。简单地说,生产系统是由人、机器设备、生产物料、生产信息和能源等实体组成的集合,其任务是完成一定的产品生产或提供某种服务。在我们的叙述中,“生产系统”是广义的,就是说它 also 包括了服务系统,如银行系统、购物超市、医院等。

1.2.2 系统模型

所谓系统模型是对实际系统进行简化和抽象、能够揭示系统元素之间关系和系统特征的相关元素实体。

由于实际的生产系统比较复杂,为便于研究,通常要建立一种与实际系统相类似,但经过抽象简化的“模型”。只要系统模型的简化能够反映所需研究特征的法则,在模型上能够对系统行为特性及其产生结果进行研究就能代表实际的系统。

在工程技术中,广泛应用“物理模型”。物理模型是根据相似准则缩小(或放

大)和简化的实际系统,对这样的物理模型进行实验研究,其结果可以近似推广到原系统。而借助物理模型的研究方法存在三个主要问题:

- (1) 因为它在实体模型上进行试验,研究的费用较为昂贵。
- (2) 因为实体上的试验是有限制的,因此很多种试验是无法进行的,如破坏性试验、试验需要对实验装置进行大幅度改变等。
- (3) 实体试验需要花费大量的时间,特别是对于一些偶发性事件,则试验的时间更长。

在实际研究中,广泛应用的另一种系统模型是“数学模型”。数学模型是通过数学的推导,把系统中各个元素间的量化关系用数学方程、数学函数或数据表格表示,例如历史上最有名的数学模型有马尔萨斯人口增长模型。如果由数学方法建立的模型非常复杂,用手工计算非常费时,那么就可以用计算机进行模拟计算。

由于计算技术的飞速发展和计算机的普及,许多实际上很复杂的系统可不必建立数学方程式,这样的模型通常就叫做“仿真模型”。

1.2.3 系统仿真

“仿真(Simulation)”的涵义就是“模仿实际”。“系统仿真”就是将系统的行为(状态)历程用数学或图示的方法演示出来。为此,首先要针对真实系统建立模型,用模型代替真实系统,然后在模型上进行试验,从而可以得到所研究的真实系统若干重要性能。就是说,系统仿真能一一仿效实际系统在时间历程上系统状态的各种动态活动,并把系统动态过程的瞬间状态记录下来。最终得到用户所关心的系统性能。如设备利用率的求取就是将设备在整个仿真时间范围中,随着时间进程设备从“闲”到“忙”,再由“忙”到“闲”,轮番进行直到达到仿真终止时间,之后,将仿真过程中设备忙闲状态改变的时间点记录下来,便可求出式(1-1)中设备第 i 次“忙”的时间值:

$$t_i = t_{fi} - t_{si}, \quad i = 1, 2, \dots \quad (1-2)$$

式中, t_{si} ——设备状态第 i 次由“闲”变“忙”的时间;

t_{fi} ——设备状态第 i 次由“忙”变“闲”的时间。

利用式(1-1)便可求出设备利用率。

在这一例子中,我们可以看到:离散系统仿真所关注的是系统状态改变的时间值,这里我们并不关心状态改变的过程。

我们所仿真的系统,其内部各元素之间的相互作用规律可以是已知的、略知的或者是模糊的。为了能够仿真,我们必须将它们的关系用数学方法描述出来。

从广义而言,系统仿真的方法适用于任何的领域。例如,工程类系统——机械、化工、电力、电子等,这类仿真已经广泛地应用于相关系统的研究之中。非工

程类系统——交通、管理、经济、政治等,这类仿真正在被人们所关注。这里,我们主要研究的对象是生产系统,属于非工程类的系统仿真。

1.2.4 系统仿真的若干术语

为了了解系统仿真的基本方法,首先需要掌握与系统仿真有关的一些基本术语。这些术语的基本概念分述如下。

1. 实体

实体是描述系统的三个基本要素之一,它是指组成系统的物理单元。如企业物流系统中的物料运输小车、物料临时储存的缓冲站、仓库、货物及工件等。实体可分为临时实体和永久实体两类。在仿真全过程中,始终驻留在系统中的是永久实体。在系统中只存在一段时间的实体叫做临时实体。例如,生产物流系统中的缓冲站、生产设备等是永久实体;而到达系统,经加工又离去的工件就是临时实体。

2. 事件

事件是描述系统的另一基本要素。事件是指引起系统状态变化的行为,也就是说,系统的动态过程是靠事件来驱动的。例如,生产系统中,工件到达可以定义为一类事件。因为工件到达仓库,进行入库时,仓库货位的状态会从空变为满。或者引起原来等待入库的队列长度的变化。只与时间有关的事件称为必然事件。如果事件发生不仅与时间因素有关,还与其他条件有关,则称之为条件性事件。系统仿真过程,最主要的工作就是分析这些必然事件和条件事件。

3. 成分

描述系统的第三个基本要素是成分。成分与实体是同一概念,只是根据习惯,在描述系统时用实体而在模型描述中用成分。成分分为主动成分和被动成分。可以主动产生活动的成分称为主动成分。如生产系统中的工件,它的到达将产生入库活动或排队活动。本身不产生活动,只在主动成分作用下才产生状态变化的那些成分称为被动成分。

4. 活动

两个相邻发生的事件之间的过程称为活动。它标志着系统状态的转移。例如,物流系统中,工件到达到入库之间,是排队活动。这一活动引起队列长度增加。

5. 进程

若干事件与若干活动组成的过程称为进程。它描述了各事件活动发生的相互逻辑关系及时序关系。例如,一个工件到达缓冲站,经过排队,等待运输,直到运输离开(见图 1-1)。

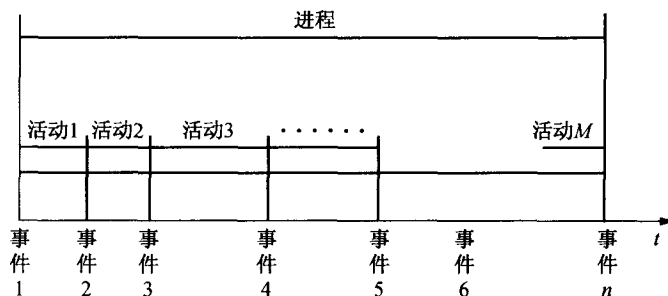


图 1-1 事件、活动与进程之间的关系

6. 仿真钟

仿真钟用于表示仿真时间的变化。在离散事件系统仿真中,由于系统状态变化是不连续的,在相邻两个事件发生之间,系统状态不发生变化,因而仿真钟可以跨越这些“不活动”周期。从一个事件发生时刻,推进到下一个事件发生时刻。仿真钟的推进呈跳跃性,推进速度具有随机性。由于仿真实质上是对系统状态在一定时间序列的动态描述。因此,仿真钟一般是仿真的主要自变量。仿真钟推进是系统仿真程序的核心部分。应指出,仿真钟所显示的是系统仿真所花费的时间,而不是计算机运行仿真模型的时间。因此,仿真时间与真实时间成比例关系。像物流系统这样复杂的机电系统,仿真时间可比真实时间短得多。真实系统实际运行若干天、若干月,用计算机仿真也只需要几分钟。

1.2.5 系统举例

例 1-2 航空炮塔控制系统。

如图 1-2 所示,炮塔轴的方向是系统的输出量,瞄准具轴的方向为输入量,电位器 R_1 和 R_2 用来测量两轴之间的误差角,当误差角不为零时,差动放大器将产生误差信号,该信号经过功率放大后,驱动伺服电动机转动,以减小误差角,达到随时瞄准的状态。

例 1-3 模-数转换系统。

图 1-3 是一个电压-数字的转换系统,当计数器所表示的数值经 D/A 电路变

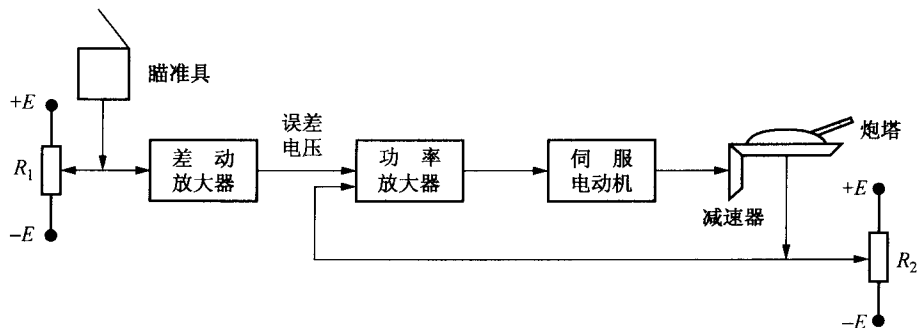


图 1-2 航空炮塔控制系统示意图

成电压后,与输入电压进行比较,比较器的输出将反映出三种可能情况:相等、大于和小于。门控电路将根据相应的情况开放或关闭脉冲源送来的脉冲信号,使具有可逆计数功能的计数器做增量、减量或保持的操作,其结果是系统的数字将随时与输入电压的大小一致。

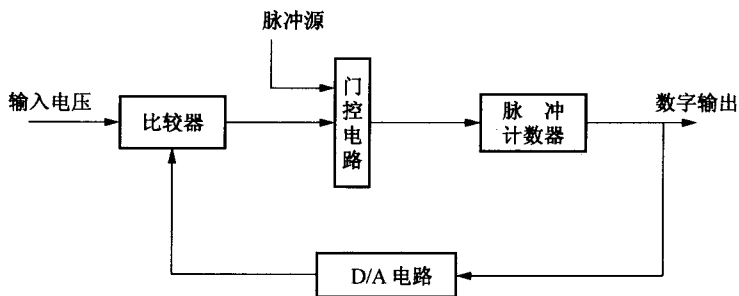


图 1-3 电压-数字的转换系统

例 1-4 CAR 系统

图 1-4 是一个计算机辅助工艺路线制订(CAR)的系统总框图。系统通过人机对话方式输入工艺的有关信息后,系统把单元图形拼装在原材料图形所规定的位置上,进行工艺的可行性检验,得到零件的最终形式,并以文件形式存入磁盘。接着便自动地确定出最优的加工顺序,同时也确定了需要使用的机床、夹具、刀具等切削条件及附加信息计算出生产时间,然后打印输出。整个过程中,系统在数据库软件的支持下不断地以各种不同的数据文件和磁盘进行信息交换。

例 1-5 医院急诊室系统。

图 1-5 是一个简单的急诊室系统,它表示一个由护士、病房及医生构成的排队系统。病人根据病情从重到轻,依次分为 1~5 类,按一定的到达规律随机地来到急诊室就医。对于 1 类紧急病人,将直接送入急诊病房等待获得病床后就诊,2~5 类病人在通过护士的检查、办理挂号及做必要的记录后,2~4 类病人都进入