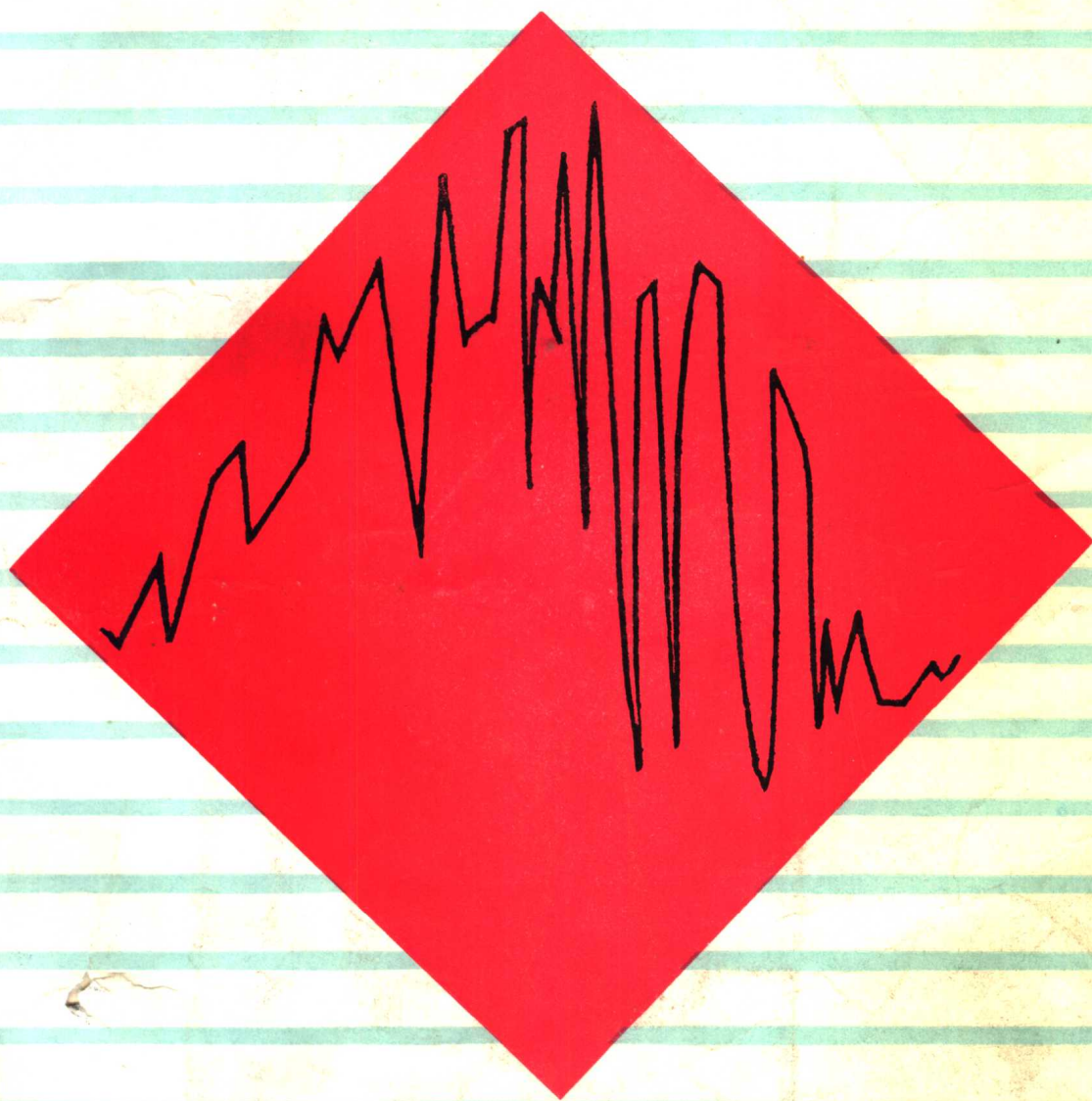


SIMAN 模拟 理论与技术

郭耀煌 李树良 等 编著



西南交通大学出版社

SIMAN 模拟理论与技术

郭耀煌、李树良等编著

西南交通大学出版社

内容提要

SIMAN 语言是近年来新出现的一种多功能计算机模拟分析语言,它吸收了以往其它模拟语言的优点,代表了模拟语言发展的最新水平。

本书是国内第一本全面介绍 SIMAN 模拟理论与技术的著作,它以汉化增强型 C-Micro SIMAN 3.6 版为背景,立足于 IBM-PC/XT/AT 机,系统地介绍了 SIMAN 的软件结构特点、模型框架、实验框架、建模方法、输出结果分析、系统模型动态调试、上机操作过程和应用技巧。本书注重应用,内容充实。为便于读者理解和掌握,各章都编写有精选的案例(作者已全部在 IBM-PC/XT 微型机上调试通过)。

本书适合于科学研究人员、计算机软件人员、工程技术人员、管理人员、教师及大学生和研究生使用和参考。

汉化增强型 C-Micro SIMAN 3.6 版仿真语言软件与本书同时出版。

SIMAN 模拟理论与技术

MONI LILUN YUJISHU

郭耀煌、李树良等编著

※

西南交通大学出版社出版

(四川·峨眉)

四川省新华书店发行

西南交通大学出版社印刷厂印刷

※

开本: 787×1092 1/16 印张: 19.375

字数: 410 千字 印数: 1~1500 册

1988年11月第一版 1988年11月第一次印刷

ISBN 7-81022-062-4/TP·007

定价: 5.65 元

前 言

SIMAN 语言是近年来新出现的一种多功能计算机模拟分析语言，它既可按照过程模拟方式工作，又可按照离散事件模拟方式工作，还可将这两种方式结合起来进行工作。它可用于各种离散变化系统、连续变化系统以及离散——连续复合变化系统的模拟。该语言是由美国宾夕法尼亚大学 C.Dennis Pegden 教授创立的，它吸收了以往著名模拟语言的优点，采用全新的软件结构设计而成，具有更多的功能，对一般系统，尤其是对机械制造系统十分有效。这种模拟方法模拟物理过程逼真，适用范围广泛，代表了模拟语言的最新水平。

SIMAN 具有以下特点：

第一个特点是，将描述系统的过程模型的建立与所需实验条件和数据（即实验框架）的确定分离开来，在不改变过程模型的情况下，可以更换各种实验框架，从而增强了它模拟实际过程的能力。

第二个特点是，SIMAN 既可对离散变化系统进行模拟，又可对连续变化系统进行模拟，而且还可对离散——连续变化的复合型系统进行模拟。这就使 SIMAN 解决问题的能力范围和范围更大。

第三个特点是，SIMAN 既可按“过程模拟”方式工作，又可按“离散事件模拟”（即事件调度）方式工作，还可将这两种方式结合起来进行工作。在后两种情况下，SIMAN 需要与用户自编的 FORTRAN77 子程序（即事件子程序）链接起来。这时，SIMAN 允许在模拟程序运行时，用人机交互方式指定或改变程序中的有关参数，而不必对程序重新编译。

第四个特点是，SIMAN 具有各种实体传输及传输手段的模拟功能。例如车辆运输、皮带传送、传输路径及站的模拟。这些都扩大了 SIMAN 对一般系统，特别是对机械制造系统的模拟能力。

第五个特点是，SIMAN 具有很强的数据处理和统计分析能力。例如，SIMAN 拥有 10 个随机数流（整型随机数发生器），并据此提供了包括用户可自行定义的离散、连续概率分布在内的 15 种满足不同概率分布的随机变量发生器。在输出数据分析方面，SIMAN 提供了丰富的数据处理及图形显示（或打印）功能，特别是为用户提供了位映象图示方式。

第六个特点是，SIMAN 具有新颖的软件结构特点，使得系统模型建立、实验框架确定、模拟运行及输出数据分析，均可分开来独立地进行。这使每一阶段所需机器内存明显减少，从而使较庞大的 SIMAN 能在微型机上应用。

第七个特点是，在不同开发阶段和模拟研究过程中，可以实现局部中断，一种模型可以与多种实验条件匹配，多种模型可以与一种实验条件匹配，一种数据可进行多种数据分析方式，或者多种数据进行相同数据分析方式以利于比较。此外，借

助于一些数据处理命令, SIMAN 语言能够与 dBASE II & III、Lotus 1-2-3、FORTRAN-77、PASCAL、BASIC、C等进行数据交换与通讯。

李树良同志在使用和评价原西文版SIMAN 的基础上, 分析了其机器内部编码, 对西文版SIMAN 3.0、3.1、3.5三个版本进行了优化组合及汉化处理, 改造成汉化增强型 C-Micro SIMAN 3.6 版。中文版 SIMAN 配置有模拟专用的汉字操作系统 CE-DOS 优化版。

本书是国内第一本全面介绍 SIMAN 模拟理论与技术的著作, 它以汉化增强型 C-Micro SIMAN 3.6 版为背景, 立足于IBM-PC/XT/AT微型机, 系统地介绍了SIMAN的软件结构特点、模型框架、实验框架、建模方法、输出结果分析、系统模型动态调试、上机操作过程和应用技巧。为了便于读者理解和掌握, 各章都编排有精选的案例(作者已全部在IBM-PC/XT/AT机上调试通过)。

参加本书编写工作的有:

郭耀煌、李树良、杨苏勤、宋吉荣、陈洪清、何和平、姜健、赵冬梅。

作者在成书过程中曾得到过毛子洄教授、杨保群教授和邓幼强付教授的关心和支持, 在此谨表谢意。

本书可供科学研究人员、计算机软件人员、工程技术人员、管理人员、高等院校师生使用和参考。

汉化增强型C-Micro SIMAN 3.6 版仿真语言软件与本书同时出版。

作者

1988年8月

目 录

前言

第一章 一般概念	1
1.1 引言	1
1.2 系统——理论结构	1
1.3 软件结构	2
1.4 块图模型	3
1.5 离散事件模型	10
1.6 连续成分模型	15
1.7 小结	17
第二章 SIMAN初级块	18
2.1 概述	18
2.2 模型框架	18
2.3 初级块的功能	23
2.4 实验框架	34
2.5 SIMAN 的输入、链接及运行	43
2.6 例子	45
第三章 SIMAN中级块	59
3.1 引言	59
3.2 模型框架	59
3.3 实验框架	75
3.4 例子	83
第四章 SIMAN 高级块	90
4.1 引言	90
4.2 模型框架	90
4.3 实验框架	100
4.4 举例	103
第五章 模拟物料搬运系统	113
5.1 引言	113
5.2 模型框架	113
5.3 实验框架	123
5.4 实例	128

第六章	SIMAN 离散事件模型	143
6.1	概述	143
6.2	离散事件建模	143
6.3	SIMAN 离散事件结构	150
6.4	将事件与块图组合起来	166
6.5	执行事件模型	168
6.6	例子	169
第七章	SIMAN 连续模型和复合模型	178
7.1	概述	178
7.2	连续模型	178
7.3	SIMAN 的连续结构	180
7.4	离散/连续复合模型	185
7.5	执行连续模型和复合模型	190
7.6	例子	190
第八章	SIMAN 输出结果分析	197
8.1	引言	197
8.2	终结型系统	197
8.3	非终结型系统	199
8.4	SIMAN 输出处理程序	202
8.5	执行输出处理程序	243
第九章	汉化增强型C-Micro SIMAN 3.6 版的更新与扩展	245
9.1	概述	245
9.2	增强型过程建模	246
9.3	离散事件建模	269
9.4	输出处理程序	270
9.5	人机交互式调试程序	273
第十章	在IBM-PC/XT/AT 机上运行C-Micro SIMAN	286
10.1	汉化增强型C-Micro SIMAN 3.6 版简介	286
10.2	运行 SIMAN 过程模拟模型(不含有用户编码的子程序)	287
10.3	将用户编码子程序与C-Micro SIMAN 链接	289
10.4	编译和链接分离的模型段	290
10.5	使用C-Micro SIMAN 的一些技巧	296
参考文献		303

第一章 一般概念

1.1 引言

本章介绍 SIMAN 系统模拟的概况。希望读者在尚未了解该语言的细节之前，能对 SIMAN 的建模结构有一个一般性认识，详细情况在以后各章中讨论。

1.2 系统——理论结构

SIMAN 建模结构是基于系统理论概念的。它强调将“系统模型”（system model）和“实验框架”（experimental frame）加以区别。系统模型确定系统的静态和动态特性，而实验框架则确定使模型运行并产生特定输出数据的试验条件。对给定的某一模型，可有很多个实验框架，从而产生出许多组输出数据。通过区分模型结构和实验框架这两个不同要素，对同一个系统模型，可以只改变实验框架来进行不同的模拟实验。

在这种结构中，可将基于三种不同建模面向（modeling orientation）建成的若干模型组件组合于一个系统模型之中。对离散变化系统，用面向过程或面向事件的方法来描述模型。对连续变化系统，用代数差分/微分方程建立模型。上述这些不同面向的模型组合可用于表达离散——连续复合系统。

给定了系统模型和实验框架之后，SIMAN 模拟程序会产生输出文件，以记录在模拟期间发生的模型状态转移。输出文件中的数据可用于各种数据分析，例如数据的截取和压缩，也可用于直方图、曲线图、表格等的规格化和显示（或打印）。

在 SIMAN 语言中，数据分析和数据显示功能是独立的，并在模拟程序建立和运行之后完成。某个输出文件可以从属于很多不同的数据处理，而无须重新执行模拟程序。数据处理也可用于若干组输出文件集，这对于一个模型多次运行后再进行数据分析，或者比较两个以上模型的系统响应，是十分有用的。

对于离散变化系统，基本的建模面向是面向过程（process orientation），这时，通过将系统的功能操作描述成块图（block diagram）来构造模型。块图一般由自顶向下依次排列的若干块组成，这些块代表特定的过程功能，例如时间推延和排队。块图可按交互方式（interactive mode）建立，也可按批方式（batch mode）建立，前者是在计算机终端以图形方式构造的；后者以批输入语句描述。本书限于研究后者。

离散变化系统的第二种建模面向是面向事件 (event orientation)。它可用于增加或替换块图的组成单元。事件部分由用户书写的一组 FORTRAN (子例程) 子程序构成, 其中包括确定每一事件发生时瞬时状态转移的数学逻辑表达式。事件 (子例程) 子程序常用来调用 SIMAN 子程序库中的子程序, 而这些子程序完成标准事件的建模功能, 例如文件加工、事件调度、观测值记录等。模拟过程由推进时间和在准确的模拟时刻调用相应事件 (子例程) 子程序来控制。

SIMAN 系统模型中的连续部分, 是由在 STATE (子例程) 子程序中对必要的代数差分/微分方程进行 FORTRAN 编程产生的, 当含有微分方程时, SIMAN 自动在全部分时间内对其导数进行积分, 以求得系统的响应。

1.3 软件结构

如图 1-1 所示, SIMAN 模拟分成三种不同的活动: 系统模型的建立、实验框架的确定和数据处理。在这三种活动中, SIMAN 软件由五个独立的处理程序构成, 它们通过四个数据文件相互联系。

1. 模型处理程序 (model processor)。用于建立块图模型, 产生的数据文件是“模型文件”。
2. 实验处理程序 (experiment processor)。用于为系统模型确定实验框架, 产生的数据文件是“实验文件”。
3. 链接处理程序 (link processor)。链接模型文件和实验文件以产生“程序文件”。
4. 运行处理程序 (run processor)。将程序文件输入运行处理系统, 它执行模拟运行并将模拟结果写在输出文件中。如果系统模型含事件模型或连续模型, 则用户写的 FORTRAN (子例程) 子程序在模拟过程执行前应被链接到运行处理程序上。
5. 输出处理程序 (output processor)。用于分析、规格化和显示出输出文件中的数据。

通过把不同功能的模拟活动分离为软件中的五个独立处理程序, 大大简化了 SIMAN 的结构。在同一时刻仅执行一个处理程序, 因而所需要计算机存贮容量显著减少, 这说明这种分解很实用。此外, 用户可在磁盘上单独地建立和存储模型文件、实验文件、程序文件和输出文件, 以备今后再用。

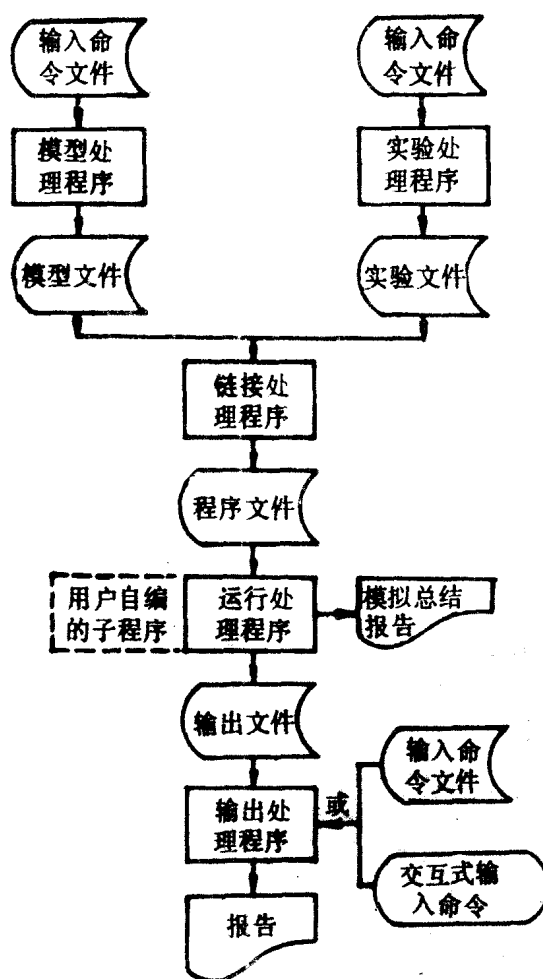


图 1-1 SIMAN 软件的组织

1.1 块图模型

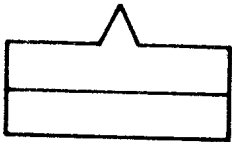
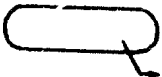
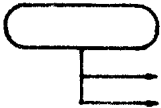
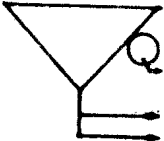
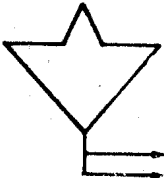
在 SIMAN 中,块图是离散系统建模的主要工具。这些图是自顶向下排列起来的流程图,表明了“实体”(entity)在系统中的运动。块的外形指明它的功能,其顺序用箭头表示,它们控制着整个系统中块到块间的实体流。

实体用于代表在现实系统中流动的事物(things),例如工件、信息或人。通过赋予一定的“属性”(attribute),每个实体均可被个体化,从而能刻画它的特征。例如,一个代表工件的实体,可能具有相应于“到期”和“加工时间”这些属性。作为块到块的实体流,它们有可能被延迟、被消除,也可能与别的实体相结合,这取决于每个块的功能。

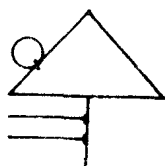
SIMAN 有十种不同的基本块类型，它们的符号和功能示于表 1-1 中。

基本块类型

表 1-1

名 称	符 号	功 能
OPERATION		本块可用于模拟很多过程，例如时间延迟、属性分派等。参见表 1-2。
TRANSFER		本块用于模拟经由物料搬运系统的站 (STATION) 间传输。见表 1-4。
HOLD		本块用于模拟某实体基于系统状态而被推迟的运动情况，HOLD块必须在某个排队设施之后，以便为推延的实体提供等待空间。参见表 1-3。
QUEUE		本块为后继的HOLD块或MATCH块推迟的实体提供等待空间。
STATION		本块确定模型段和物料搬运系统之间的接口点。
BRANCH		本块描述实体的条件转移、随机性转移和确定性转移。
PICKQ		本块用于从一组后继的QUEUE块中作出选择。
SELECT		本块用于对一组后继OPERATION块的相应资源作出选择。

QPICK



本块用于对一组前导QUEUE块作出选择。

MATCH



本块将一组前导 QUEUE块中的实体推延，直到在每个 QUEUE块中的这些实体的某一指定属性具有相同的值：

1.4.1 块功能名

SIMAN 中每一种块的作用可由其块“功能名”（block function name）看出来。在使用QUEUE、STATION、BRANCH、PICKQ、QPICK、SELECT和MATCH块时，一个块型仅完成一种功能，它们的块功能名与其基本块名相同。但是，对OPERATION、HOLD和TRANSFER这三种块，每一种基本块型可完成几种不同的功能。这三种块分别为“操作”（operation）型、“阻塞（保持）”（hold）型和“传输”（transfer）型。通常以块的功能名来指称这个块，例如，我们把具有 DELAY操作类型的 OPERATION 块称为 DELAY块。

1.4.2 块功能类型

OPERATION、HOLD 和 TRANSFER 块可进一步细分为几种不同的块功能。它们都包括一个描述块功能的动词。例如，操作型 ASSIGN 块规定这种块要对某一属性或变量赋值；操作型 CREATE 块规定这种块要生成实体；操作型DELAY 块规定这种块要推延实体。SIMAN 中各种操作型、阻塞型和传输型块分别汇总于表 1-2、表 1-3 和表 1-4 中。

包括 OPERATION、HOLD 和TRANSFER在内的所有基本块型，都有控制块功能的“操作数”。例如CREATE块的操作数预先规定了两批实体到达之间的时间间隔、每批的实体数以及生成的最大批数。各种块的操作数将在以后各章中作详细介绍。

操作型块

表1-2

名称	说 明
ASSIGN	给属性和变量赋值

一般功能	CREATE	为系统生成成批到达实体
	DELAY	将实体推迟某一指定时间
	DETECT	检测与连续变量相关联的状态事件
	EVENT	使某一指定事件发生
	FINDJ	求满足某一指定条件的下标 J 的值
	SIGNAL	发出一信号使结束推延某一实体
	SPLIT	将一实体集拆成单个成员
资源功能	ALTER	改变某种资源的容量。
	RELEASE	释放某资源的单元
物料搬运功能	ACTIVATE	置某个运送器 (transporter) 为工作状态
	EXIT	退出某个指定的传送器 (conveyor) 设备
	FREE	退出某个指定的运送器设备
	HALT	置某个指定的运送器为非工作状态
	START	置某个指定的传送器为工作状态
	STOP	置某个指定传送器为非工作状态
文件功能	COPY	复制指定 QUEUE块中某实体的属性
	REMOVE	从某一指定 QUEUE块中消去一实体
	SEARCH	查询 QUEUE块中满足某指定条件的实体
统计功能	COUNT	增加某计数器的计数值
	TALLY	记录对某值的观测结果

阻塞型块

表T-3

	名称	说 明
条件功能	SCAN	阻塞实体, 直至满足某一指定条件
	WAIT	阻塞实体, 直至从 SIGNAL 块收到某指定信号
资源功能	SEIZE	阻塞实体, 直至所需数目的资源单元空闲并分配给该实体。
	PREEMPT	阻塞实体, 直到一个资源单元分派给该实体。该实体可优先占用正使用的资源

物料搬运 功 能	ACCESS	阻塞实体，直至有指定数目的相继传送器单元可用，并在存取站位上分派给该实体。
	REQUEST	阻塞实体，直至某运送器设备分配给该实体且到达请求的站位。
集功能	COMBINE	阻塞实体，直至其前导 QUEUE块中保存的实体达到某指定的数目。这时，队中等待的实体组合成永久集，并生成该集的代表实体。该集中原有各实体均消失。
	GROUP	阻塞实体，直至前导 QUEUE块中保存的实体数达到某一指定值。此时，这些实体被组成一临时集，并生成此集的一个代表。集中原来的各实体保留，并可用SPLIT块恢复。

传输型块

表 1-4

	名称	说 明
物料搬运 功 能	CONVEY	用传送器把实体送往某指定站，传输时间决定于沿传送器的站间距和传送器的速度
	ROUTE	确定实体到指定站的路线，传输时间由块的操作为数指定。
	TRANSPORT	用运送器把实体送到指定站，传输时间和站间距成正比。

1.4.3 输入 SIMAN 模型文件

如前所述，块图可用两种方式输入 SIMAN模型文件：交互图形方式和用输入语句的批方式。在前一方式中，借助于实时错误检验在计算机终端直接构造块图模型；相比之下，批方式（用输入语句）提供了一种等价但更为简捷的形式，来描述成批计算情况下的块图模型。不管用什么方式输入，都是用一种特殊的数据结构将块图存贮在 SIMAN模型文件中，这种数据结构允许模型的语句形式（statement form）或图示形式（graphic form）再生成。从而，用输入语句输入的模型，可以在图示终端上以图形方式稍后显示。

当块图在计算机终端以图示形式输入时，每一个增加的块都自动插入到图的底部，使得前面的块向上翻卷，最终溢出屏幕上端。这些块自动垂直对齐。可以给块

赋以最多达 8 个字母数字字符的标号（以字母开头），并写在块的左下边，这些标号可用于分支（转移）和被其它块引用。在 SIMAN 中块被自动地赋以顺序号，顺序号出现在屏幕左侧与块相邻处，用于进行块编辑，而屏幕右侧则约定留给用户注释。

1.4.4 交互方式中的块变址符

块间用连接符“↓”和“└→标号”连接，第一种连接符“↓”用于指示实体从一个块到下一个块的顺序流：第二种连接符“└→标号”指示非顺序流；这里的“标号”指实体将被发送去的目的块标号。如果一个块没有上述任何一种连接符，则应附加特殊符号“⊥”，以表明从该块离去的实体消失。连接符可不附加给 TRANSFER 块，因为从这些块来的实体流由该块的功能控制。

除连接符之外，也可将特定的标志符（Mark）MA 附加到任一个块的右边，属性号 MA 记实体到达该块的时间，具体的用法在以后详细说明。以上所说的标志符和连接符称为块的“变址符”（modifier）。

1.4.5 批方式输入格式

批输入语句中块的描述通常分为五个部分：块的标号（若有的话）、块名、块操作数、块变址符（若有的话）以及块的注释栏（若有的话）。块标号可在输入记录前八列的任意位置上输入，其余描述在第十列或其后开始。操作数分成几个行段，以特定字符“:”作为结尾，此处每个行段与块内操作数的某已知行相对应。任一操作数均可省缺，其方法是从行段中将该项略去。所有操作数和变址符的最后面用特定字符“;”标明，其后跟注释字段。

1.4.6 批方式中的块变址符

最后一个操作数行段后跟块变址符，它可能是一个或几个“关键字”：DISPOSE, MARK (MA) 或 NEXT (标号)，彼此用逗号分开。DISPOSE 变址符使离开的实体消失；MARK (MA) 变址符规定到达该块的时间记在属性 MA 中；而 NEXT (标号) 说明为一非顺序流，用“标号”指出要流向的块。如果略去 DISPOSE 和 NEXT (标号) 变址符，就是假定顺序流到下一个块。

例 1A SIMAN 模型的一个例子

下面是电视机检查和调整过程的一个例子，说明了在计算机图示终端上，块的一般安排以及相应输入语句的格式（图 1-2 和图 1-3）。在这个模型中，电视机的垂向控制装置在检查站接受检验。如果发现某一台电视机性能不好，就把它送到调整站，经过调整，再把它送回检查站进行检查，通过检验的电视机，不管它是第一次通过还是经过若干次调整才通过，都送往包装区。

由于在这个模型中所用到的块的功能操作尚未完全说明，所以此处不打算详细解释图 1-2 中的块图模型。本例在于给读者提供一个 SIMAN 块图格式的概况。

相应于这个模型所用的批输入语句示于图 1-3 中。此处不打算详细讨论输入语句，只是说明一般的格式惯例。

图 1-3 的模型，不管是用图形输入或语句输入，都要与实验框架结合起来。实验框架规定资源的容量、分布的参数、随机数种子 (random number seed)、运行行程 (run length) 等。图 1-4 给出的输入语句是该模型可用的实验框架的一种。

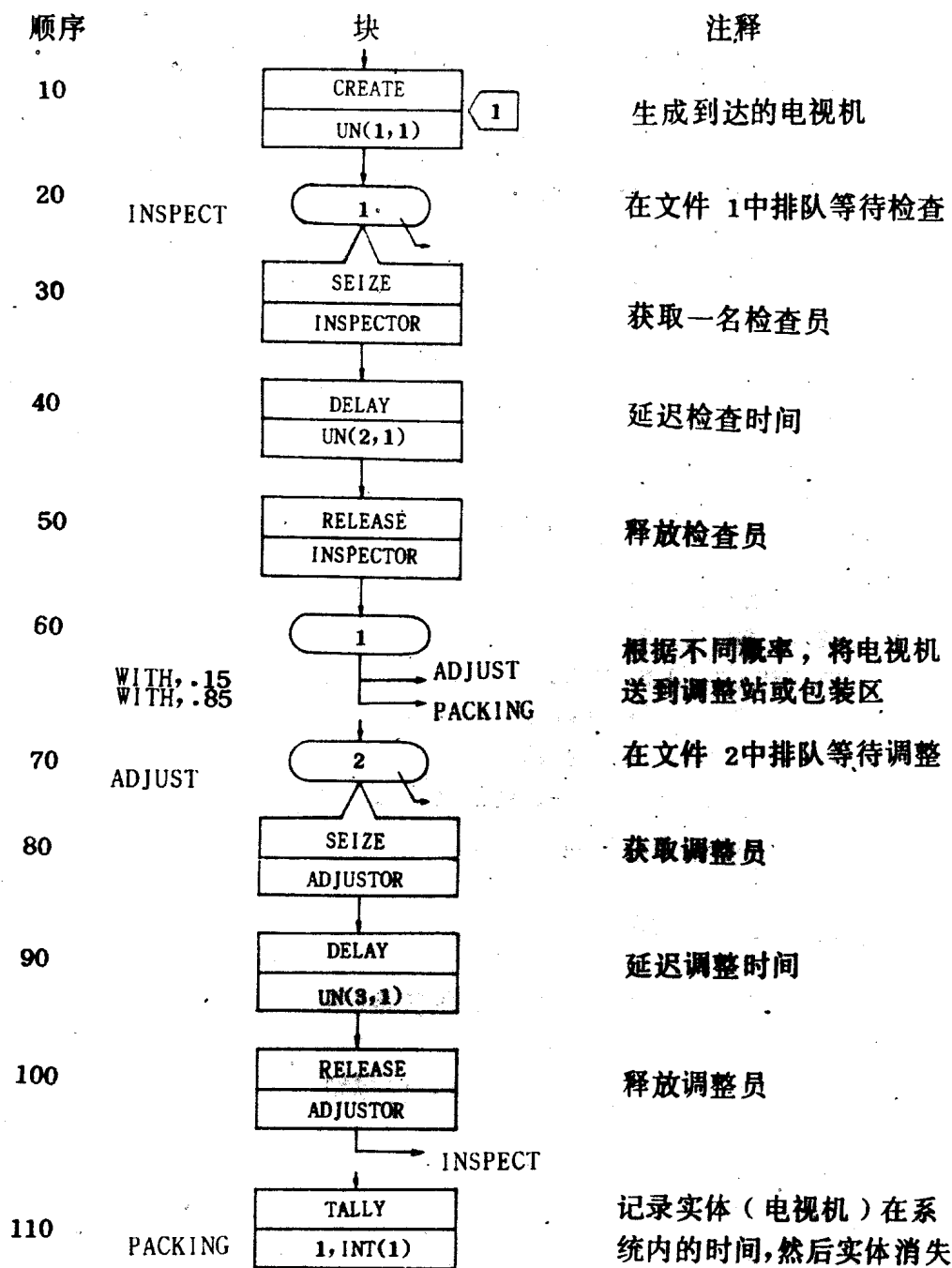


图 1-2 例 1A 的块图模型


```

BEGIN;
10      CREATE: UN(1,1): MARK(1);   CREATE ARRIVING TELEVISIONS
20  INSPECT QUEUE,1;                QUEUE FOR INSPECTOR IN FILE 1
30      SEIZE: INSPECTOR;           SEIZE AN INSPECTOR
40      DELAY: UN(2,1)              DELAY BY THE INSPECTION TIME
50      RELEASE: INSPECTOR;         RELEASE THE INSPECTOR
60      BRANCH,1:
        WITH,.15,ADJUST:
        WITH,.85,PACKING;          BRANCH TO ADJUST OR PACKING
70  ADJUST QUEUE,2;                QUEUE FOR ADJUST IN FILE 2
80      SEIZE: ADJUSTOR;            SEIZE AN ADJUSTOR
90      DELAY: UN(3,1);             DELAY BY THE ADJUSTMENT TIME
100     RELEASE: ADJUSTOR: NEXT(INSPECT); RELEASE THE ADJUSTOR
110  PACKING TALLY: 1,INT(1): DISPOSE; TALLY TIME IN SYSTEM
END;

```

图 1-3 例1A的输入语句

```

BEGIN;
10  PROJECT, 电视机质量检查与调整, 作者, 4/25/88;
20  DISCRETE, 30, 1, 2;
30  PARAMETERS: 1, 3.5, 7.5: 2, 6., 12: 3, 20, 40;
40  RESOURCES: 1, INSPECTOR, 2: 2, ADJUSTOR;
50  TALLIES: 1, TIME IN SYSTEM;
60  DSTAT: 1, NQ(1), INSP QUEUE: 2, NQ(2), ADJT QUEUE:
        3, NR(1), INSP UTIL: 4, NR(2), ADJT UTIL;
70  TRACE;
80  REPLICATE, 1, 0,100;
END;

```

图 1-4 例1A的实验框架

1.5 离散事件模型

为了扩展离散变化系统的块图模型，SIMAN 中包括事件面向。事件面向可用来建立标准块功能未提供的特定逻辑。本节说明在模型中包含离散事件的方法。

可以包含三种不同类型的事件：块事件、时间事件和状态事件。“块事件”是由实体到达块图模型中的 EVENT块引起的，“时间事件”发生于模拟期间的特定点