

柔性制造系统的计算机仿真

陈志华 代树智

(精密机械与仪表系)

摘要 目前FMS的规划设计还不可能象普通的机械制造系统设计那样,有一些数学公式可循,对于方案的优化也不可能进行实物试验,国外最有效的方法是应用计算机仿真技术。本文是用ACD图对FMS进行分析,建立模型,通过一个例子用GPSS语言对模型进行了计算机仿真。初步揭示了FMS设计规划中的某些问题,为寻找解决方法提供了依据。

一、引言

柔性制造系统(FMS)是60年代后期出现的用于中小批量零件生产的自动化设备。它由自动化机床、物料贮运系统和计算机等硬件组成。物料贮运系统把各自动化机床联系起来,而计算机则控制着它们的每一个动作。

FMS作为一个系统,它的效益并不在于某一台机床所发挥的高的生产率,而在于系统的综合效益、整体效果。所以,对系统的总体规划和设计以及系统效益的评审就显得格外重要。然而,对于一个象FMS这样复杂和昂贵的系统,不可能象传统的机械设计那样,有一些数学公式可遵循;而对于各种设计方案,更不能一一进行实物试验,因为那样做会耗费大量的人力物力,也不现实。对FMS进行规划和设计的最有效的办法是应用计算机仿真技术:建立FMS的仿真模型,在计算机上对模型进行“实验”,观察各种方案的运行结果,确定最优方案。本文是用ACD图对FMS进行分析、建模,并用GPSS语言对所建立的FMS模型进行计算机仿真。

二、通过ACD图建立FMS模型

仿真的基础是系统的模型,建模的任务就是把系统内部各组成要素之间的逻辑关系描述清楚。在仿真模型中,通常用一组矢量代表系统的重要特征(状态)。通过时间的推进,记录这些矢量的变化过程就是仿真。然而,FMS多属离散系统,建模是相当困难的,通常采用ACD(Activity Cycle Diagram)图建模,具有直观、快速的优点。

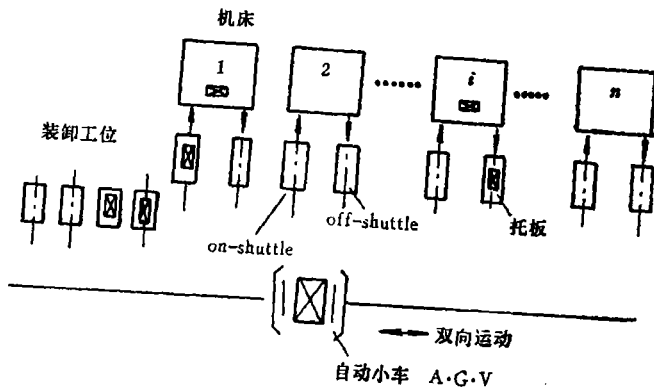


图1 简单FMS的系统结构

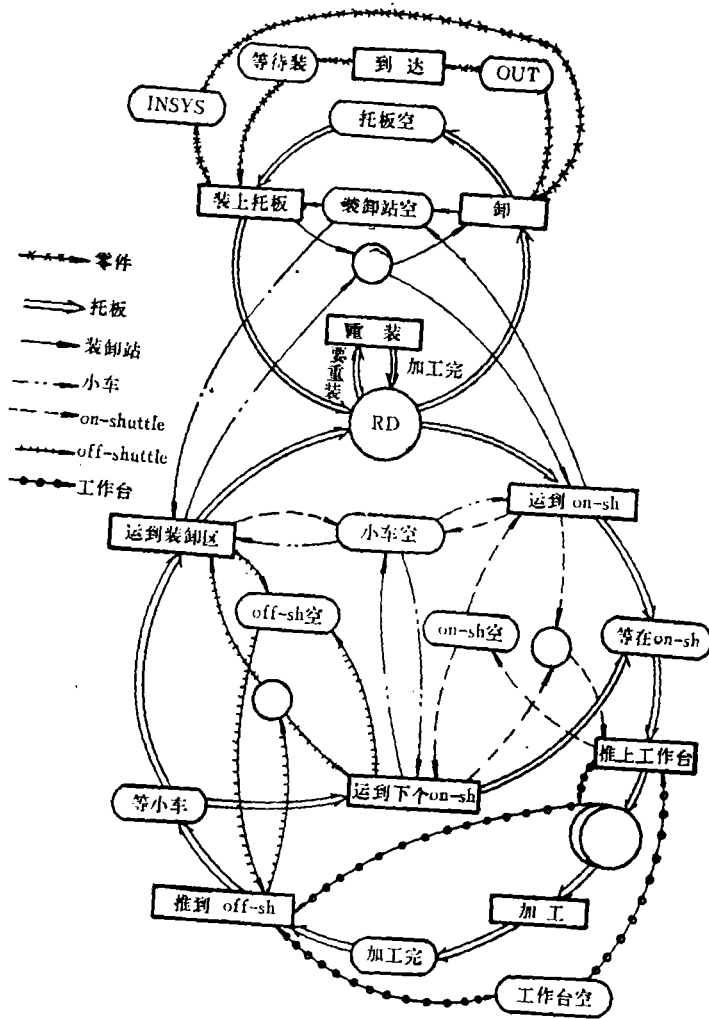


图2 FMS系统的活动循环图

在离散事件系统仿真中，我们给系统下了这样的定义：一些对象的集合，它们之间按照一定的规律结合起来，并具有相互作用和相互依存关系。我们把存在于系统中的每一个确定的研究对象称为实体 (Entity)，把实体所具有的每一项有效特征称为属性 (Attribute)，把系统内部发生的任何变化过程称为活动 (Activity)，任何一个系统均由实体、属性和活动加以描述。

ACD图是具有某些属性的实体的活动循环图，通过活动，使实体的状态发生变化。图 1 是 FMS 的系统组成结构，包括零件 (多种)、托板 (多个)、装卸站 (多个)、小车、on-shuttle (多个)、off-shuttle (多个)、工作台 (多个) 等。图 2 是 ACD 图模型，描述实体的各种活动循环和状态变化关系。图 2 中矩形框表示实体的活动 (Activity)，圆圈 (或圆弧边的框) 表示实体的队列 (状态) Queue，箭头表示实体的状态的变化过程。每一个实体的循环都是封闭的，且 Activity 和 Queue 相间出现。指向某一矩形框 (活动) 的所有箭头的始端圆圈内的状态，是发生该活动的条件，只有这些状态条件同时成立，该活动才能进行。一旦活动结束，有关实体便转向以矩形框为始端的箭头所指的状态。

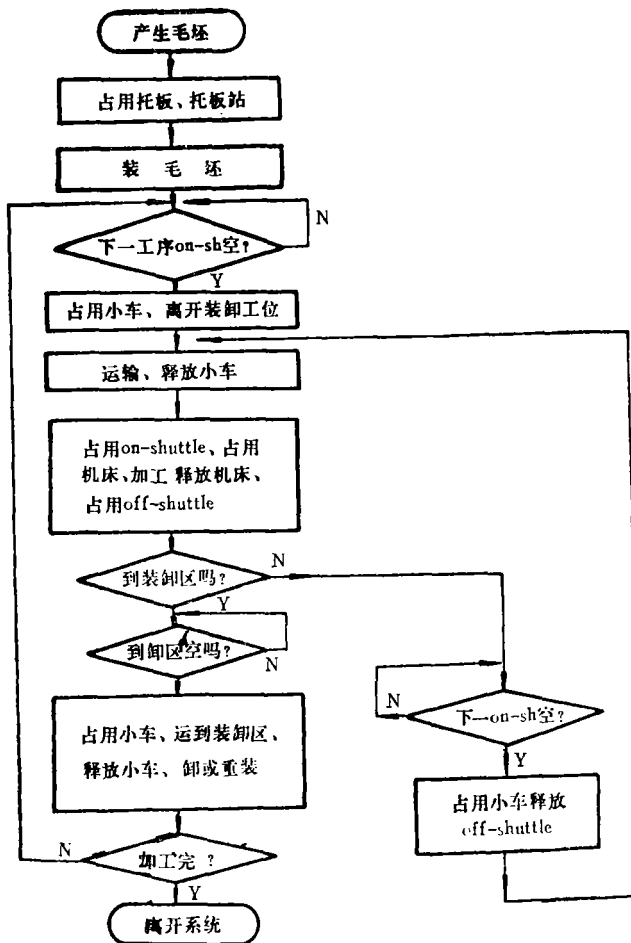


图 3 仿真基本框图——通用方块图

图 2 中, 毛坯 (零件) 从系统外面 “OUT” “到达” 且 “等待装夹”, ”装上托板” 后就算进入了系统 “INSYS”, 当加工完, 在装卸工位 “卸” 去后, 才离开系统, 即零件又处于 OUT 状态, 这是零件的循环。

托板的循环: 零件一旦被 “装上托板”, 就和托板成一体, 直到加工结束 “卸” 掉, 使托板重新进入 “托板空” 状态。 “托板空” 时, 把零件 “装上托板”, 托板由小车 “运到 on—sh”, 即运到某机床前的 on—shuttle 托板站上等待。当工作台空闲时, 被 “推上工作台”, 进行 “加工”, “加工完毕” 后, 如果该机床的 off—shuttle 空, 则托板被 “推到 off—sh”, 否则, 被堵在工作台上。被 “推到 off—sh” 上的托板, “等待小车” 的运送, 如果不需重新装夹, 则被 “运到下一工序机床前的 on—sh” 上, 而进入新的 “等在 on—sh” 状态, 否则, 托板被 “运到装卸区”; 如果加工结束, 则 “卸” 下工件, 进入 “托板空”, 要不然, 则 “重 (新) 装 (夹)” 后又被 “运到 on—sh”。

其它循环类同。(为了简单起见, 图 2 没有包括小车、机床的故障情况)。

ACD图提供了系统分析的一种方法, 清楚地描述了系统运行的逻辑关系, 同时, 也为管理人员之间对模型的交流提供了工具。事实上, 计算机执行根据ACD图模型编写的程序的过程就是仿真。

图 3 是上述 FMS 模型的仿真基本框图, 用 GPSS 语言编程。GPSS (全名 General Purpose System Simulator) 是一种在通用数字计算机上产生事务过程流的专用离散仿真语言, 可用来进行离散事件系统的仿真, 尤其适用于随机服务系统的仿真研究。有关 GPSS 语言的细节, 可参阅参考文献 [3]、[4]。至于 GPSS 模块框图则因篇幅有限从略。

为了应用 ACD 图模型描述 FMS, 并通过计算机仿真分析系统布局, 零件引进规则和托板数量设置等问题, 本文通过图 4 事例作了仿真分析研究。

三、模型仿真结果输出及分析比较

图 4 的 FMS 由五台加工中心组成, 编号为 1 ~ 5, 设装卸工位的编号为 7, 设编号 6 为虚拟机床。

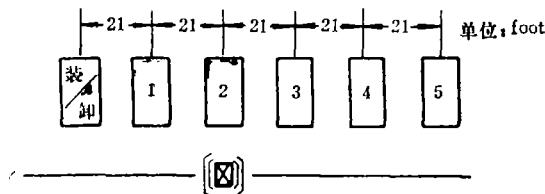


图 4

若有三种零件在该系统上加工, 工艺步骤和加工时间 (分钟) 如图 5 所示。

圆内数字表示机床编号, 圆外数字表示加工时间, 同一工序有多个机床编号表示它们之间可以互相替换有利于在某些机床出故障或者任务很重时, 本模型可以自动地把任务分配给其它机床。这样做可能有时会降低生产率, 但不致于使整个系统完全停产。为

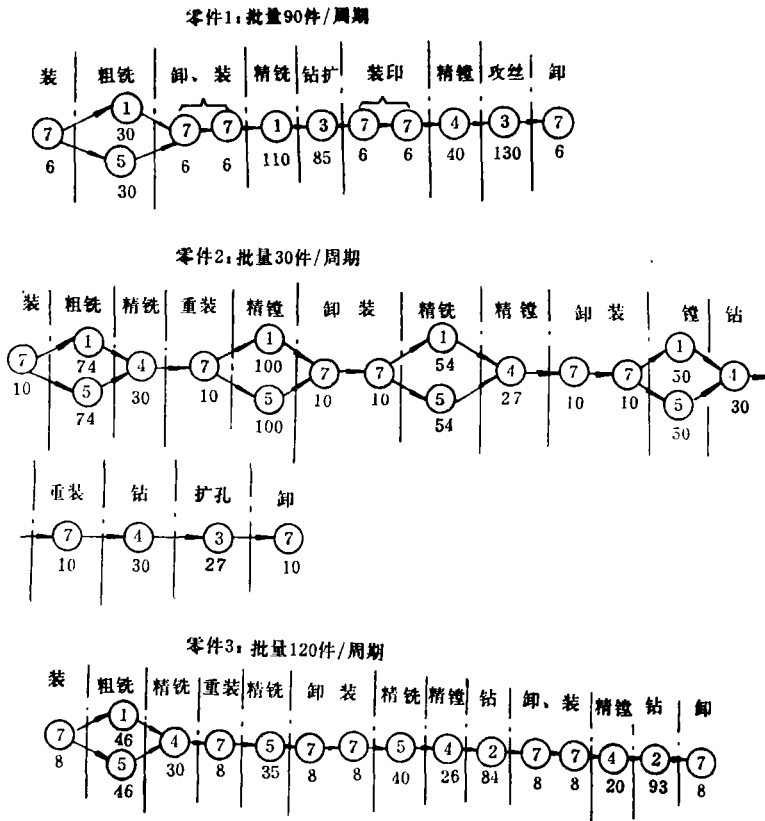


图 5

了简化程序和实现自动分配任务的功能，模型中采用了加入一台虚设机床（本例中编号6）的技术。假定每道工序都有三台互替机床，如果实际上可以互替的机床不够三台，不够部分由虚设机床补上。从仿真一开始，虚设机床前的 on—shuttle 总是置忙，于是在仿真过程中工件就始终不会进入虚设机床了。于是，我们可以用一矩阵 PROCES 表示上述工艺路线和加工时间，并输入到仿真模型中去。

	装	第一步					第二步					第三步								
PROCES= 工件 1	6	1	30	5	30	6	0	7	12	6	0	6	0	1	110	6	0	……	6	0
工件 2	10	1	74	5	74	6	0	4	30	6	0	6	0	7	10	6	0	……	6	0
工件 3	8	1	46	5	46	6	0	4	30	6	0	6	0	7	8	6	0	……	6	0

PROCES矩阵的维数为：工件类型数 × (最长工序数 × 6 + 1)。

在小车速度一定的情况下，为了确定运输时间，还应输入系统的布局情况，系统布局由位置关系矩阵 DISTANCE(i, j) 表示，它意味着从工位 i 到工位 j 的距离，它是一个 (5 + 2) × (5 + 2) 的对称方阵。在本例中：

$$\text{DISTANCE} = \begin{pmatrix} 0 & 21 & 42 & 63 & 84 & 0 & 21 \\ 21 & 0 & 21 & 42 & 63 & 0 & 42 \\ 42 & 21 & 0 & 21 & 42 & 0 & 63 \\ 63 & 42 & 21 & 0 & 21 & 0 & 84 \\ 84 & 63 & 42 & 21 & 0 & 0 & 105 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 21 & 42 & 63 & 84 & 105 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

只要改变矩阵中各元素的值，就改变了系统的布局。

对于工件引入规则，我们提出了混合周期的概念，它表示每一次循环输入系统内的零件的个数。在一个混合周期内，一般应保证各种零件的比例和产量比例大致相等。在本例中，如果取混合周期MIXCYC=8，一个周期里引入系统的顺序可以是零件3, 3, 1, 3, 2, 1, 3, 1，也可以是零件3, 3, 3, 3, 1, 1, 1, 2及其他方案。本模型可以对各种引入规则进行仿真比较。

1. 结果输出

取托板数为6，装卸工位的托板站数为5，工件引进规则为MIXCYC=8，顺序为3, 3, 1, 3, 2, 1, 3, 1，系统布局为上述方阵。小车速度=10feet/min，仿真进行7200分钟，输出结果如表1、表2、表3所示。

表 1

设备名称	平均利用率	进入设备的零件数	零件在设备上停留的平均时间(分)
工作台 1	0.7068	63	80.78
工作台 2	0.6146	50	88.50
工作台 3	0.8721	55	114.16
工作台 4	0.3680	97	27.16
工作台 5	0.3918	67	42.10
主 轴 1	0.5731	63	65.49
主 轴 2	0.6146	50	88.50
主 轴 3	0.7090	55	92.82
主 轴 4	0.3513	97	26.08
主 轴 5	0.3915	67	42.07
on-sh 1	0.2982	63	34.08
on-sh 2	0.2000	50	28.08
on-sh 3	0.4664	55	59.96
on-sh 4	0.0576	97	4.32
on-sh 5	0.1018	67	10.94
off-sh 1	0.2151	62	24.98
off-sh 2	0.0431	50	6.20
off-sh 3	0.2454	54	32.92
off-sh 4	0.1614	97	11.98
off-sh 5	0.0842	68	8.91
小 车	0.6058	506	8.62
小车空运行	0.2572	505	3.67
小车载运行	0.3468	506	4.96

注：小车空运行505次，平均每次3.67分钟。

表 2 是零件在 on—sh 上等待进入工作台和在工作台上 (已加工完) 等待进入 off—sh 的队列的情况。

表 2

队列名称	最大长度	平均长度	成员总数	零件等待成数	零件等待百分比	成员在队列中平均时间 (所有)	成员在队列中平均时间 (非零)	当前队长
on—sh1	1	0.30	63	31	49.21	34.08	67.09	1
on—sh2	1	0.20	50	20	40.00	28.80	48.00	0
on—sh3	1	0.47	56	20	35.71	59.96	93.28	1
on—sh4	1	0.06	96	71	73.96	4.32	16.60	0
on—sh5	1	0.10	67	37	55.22	10.94	24.43	0
工作台 1	1	0.13	63	60	95.24	15.29	321.00	1
工作台 2	1	0.00	50	50	100.00	0.00	0.00	0
工作台 3	1	0.16	55	54	98.18	21.35	1174.00	1
工作台 4	1	0.01	97	94	96.91	1.08	35.00	0
工作台 5	1	0.00	67	66	98.51	0.03	2.00	0
等 小 车	4	0.46	533	/	/	6.20	/	0

表 3 是各种零件在系统中的情况。

表 3

零件名	进入系统总数	在系统中最大数目	在系统中平均数	在系统中平均时间 (分)	当前在系统中数目
零件 1	18	3	2.26	904.11	3
零件 2	7	2	1.07	1102.43	2
零件 3	26	4	2.67	738.81	1

在表 1 中, “主轴 i ” 表示机床 i 的切削加工情况。例如, 进入机床 1 的零件在机床 1 上的切削加工平均时间为 65.49 分, 而 “工作台 i ” 则包括零件加工时间和在工作台上等待进入 off—shuttle 的时间。如表 1 中进入机床 1 的零件平均占用工作台的时间是 80.78 分, 在工作台上等待 (不切削) 的平均时间便有 $80.78 - 65.49 = 15.29$ 分, 仅这一项可知, 机床资源浪费很大。另外, 从表 1 可以看出, 机床 3 和小车的利用率很高。在表 2 中, 零件等待小车运输的平均排队时间就高达 6.20 分, 可见, 小车和机床 3 是系统中的薄弱环节之一。小车的工作量太大, 应该加强小车运输能力或减少运输量。

2. 改变系统布局

若把装卸工位的位置移到轨道旁机床 3 的对面, 则机床工作台和小车的利用率为:

机床 1 0.7996; 机床 2 0.8198; 机床 3 0.8194

机床 4 0.7919; 机床 5 0.6275; 小 车 0.4023

机床工作台利用率平均提高 18.13%, 而且变得负荷均衡, 小车利用率减少 20.35%, 可见, 系统的布局是十分重要的。

3. 不同工件引进规则的比较

在原布局中托板数 6, 装卸站数 10, FIFO 运输规则, 小车速度 10 feet/min, 对两

种不同的工件引进方案进行比较，列于表4。

显然，后一种引入规则比前一种要优越得多，因它在整个过程中使零件对机床资源的要求比较均匀。在FMS运行中应考虑毛坯的引入规则。

表 4

引入规则	3, 3, 8, 3, 1, 1, 1, 2		3, 3, 1, 8, 2, 1, 8, 1	
仿真时间	4328分		4196分	
机 床	工作台利用率	主轴利用率	工作台利用率	主轴利用率
1	0.5545	0.5545	0.6547	0.6430
2	0.6952	0.6952	0.7171	0.7171
3	0.7248	0.6456	0.8313	0.7438
4	0.4924	0.3768	0.4254	0.4032
5	0.4413	0.4413	0.4473	0.4473
产 品	已加工完	正在系统中	已加工完	正在系统中
零件 1	8	3	9	3
零件 2	2	1	3	2
零件 3	17	2	17	1

4. 三种运输规则的比较 (其它条件同前, 仿真7200分)

表5是前述三种不同的运输规则的比较, 在这三种情况下, 小车空运行时间与小车总运行时间的比例大致相同。这说明在本模型条件下, “就近原则”和“最大加工时间原则”并不能减少空运行时间比例, 而且比在FIFO规则下利用率低, 系统生产率也低。仿真的结果与预先想象的不一样, 这里面有大量的影响因素, 这些因素在分析中很难考虑, 应用仿真技术便于问题的分析求解。

表 5

	规则 1 (FIFO)		规则 2 (就近)		规则 3	
小车利用率	0.7196		0.6058		0.6611	
小车空运行率	0.3076		0.2572		0.2792	
小车载运行率	0.4119		0.3486		0.3819	
空运行率/利用率	42.74%		42.54%		42.23%	
	已加工完	在系统中	已加工完	在系统中	已加工完	在系统中
零件 1	19	3	15	3	16	4
零件 2	7	1	5	2	6	2
零件 3	28	2	25	1	27	0

5. 托板数和装卸工位托板站数的影响

模型对托板数为6, 8, 10, 装卸工位的托板站数为2, 4, 6的九种组合方案进

行仿真,发现最多时,有4个托板站被利用,而平均起来,最多的只有2.09个,所以,装卸工位最多只要4个托板站就够了。另外,发现托板数的增加,将加快系统的堵死现象的发生。如图6所示,各工作台和 on—sh、off—sh 上都有了托板,它们都有待于沿箭头方向移动,然而根据前面规则,因为目标站上没有空位置,这种移动不能实现,机床 MACH1和 MACH2 就被堵死。所以,在编写FMS的系统控制程序时应注意:避免使机床工作台、on—sh、off—sh 等形成如图7所示的封闭链。有时,这种链会更复杂:链很长;有分枝;或有多个封闭链等。解决的办法是:控制程序扫描工件的移动趋势,如果没有形成上述封闭链则按前述方法调度,一旦形成了闭环链,则在系统中设置一个缓冲存储器Buffer,小车先把封闭链中的某一off—sh上的零件移出到Buffer上,这样,就把链打开,让其它环节向前移了一步,最后移动Buffer上的零件到相应的 on—sh上。

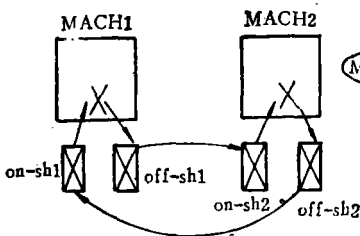


图 6

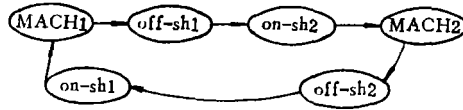


图 7

四、结 束 语

通过上述FMS的系统仿真,获得了大量的信息,它们不仅是规划设计阶段的决策依据,而且在系统运行之后,为进一步提高系统性能提供了研究工具。有了一个简单的模型作基础,要对一个更复杂的FMS进行仿真,可以通过GPSS语言简单地实现。由于FMS仿真技术国内尚处于起步阶段,进行探索性研究很有必要。

参 考 文 献

- [1] System Simulation, GEOFFREY GORDON.
- [2] 周昭南,系统仿真,国防科大。
- [3] 周昭南等,GPSS离散仿真语言及其应用,国防科大。
- [4] GPSS1100程序员参考手册,北京文献服务处。
- [5] Models for the Automatic Factory, J.J.Talavage.
- [6] J.E.Lenz, A Simulation Tool for Designing Computerized Metalworking Factories, MAST.
- [7] A.S.Carrie and E.Adhami, FMS Introducing by Simvlation.

The Simulation of Flexible Manufacturing System

Chen Zhihua Dai Shuzi

Abstract

The design of FMS is different from that of ordinary mechanical manufacturing system, the design of which can be carried out by some mathematical formulas. The FMS projects can not be optimized by physical test and they can be tested only by simulation. In this paper, ACD diagram is used to analyze and to model FMS. Through an example, the FMS model set is simulated by language GPSS. Some problems in the design of FMS are presented and the foundation to solve them is found.