



上海财经大学
SHANGHAI UNIVERSITY OF FINANCE AND ECONOMICS



智能素养与计算社会科学方法论

社会科学中的仿真计算方法

主讲人：邵志芳

上海财经大学



3-2 仿真基本原理



目录

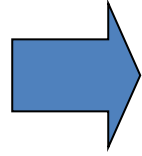
□ 仿真中的几个重要概念

□ 一个手工仿真的小游戏



一些重要概念：系统、模型与仿真

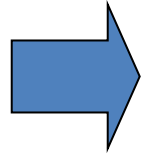
系统



一些具有特定功能相互之间以一定的规律联系着的物体所组成的总体。

例如：把餐馆定义为一个系统：服务员、顾客.....

系统边界



为了限制所研究问题涉及的范围，用系统边界把所研究的系统与影响系统的环境区分开来。



边界以外对系统的作用称为系统的输入



系统对边界以外的环境的作用称为系统的输出



一些重要概念：系统、模型与仿真

系统分类（根据系统中信号或状态变量的变化特性进行区分）：

- ❑ **离散系统**：状态变量的变化是由于随机事件发生而引起，这种变化在时间上可数（或有限）。离散系统的状态变化只在离散时刻发生，而且往往是随机的，通常用“事件”来表征这种变化。

例如：港口中船舶的停靠码头、电梯系统.....

- ❑ **连续系统**：状态变量相对于时间连续变化。

例如：传感器检测系统.....

- ❑ **混合系统**：融合了连续时间系统和离散时间系统这两种系统特征的系统。它既具有连续系统的特征，也具有离散系统的特征。



一些重要概念：系统、模型与仿真

模型是指对真实或者设计系统进行某种形式的**简化与描述**，对系统中有用和指标性的特征**抽象化**。通过模型可以分析系统的结构、状态、动态行为和能力。。

模型从形式上可以分为物理模型、定量模型、定性模型等。

- ❑ 物理模型：真实系统一种实在的对应物。
- ❑ 定量模型通过构建系统各个要素之间的**数量关系**，来刻画系统的本质特征。它又**分为数学模型和仿真模型两类**。
- ❑ 定性模型：如概念模型、结构模型和流程图等。它们常用各类图示方法描述系统各变量之间的相互关系以及输入/输出之间的关系。这类模型是对系统的概略描述，仅仅刻画**定性的结构关系**，没有精确的量化关系。



一些重要概念：系统、模型与仿真

模型有效性的三个级别

复制有效
replicatively valid

实际对象视为黑箱，仅在输入输出行为水平认识系统，输入输出相匹配

预测有效
predictively valid

总体结构及其内部规律有了解，对详细结构缺乏足够信息和数据。

与实际对象的行为和数据相匹配，可以用来预测实际对象未知的行为和信息。

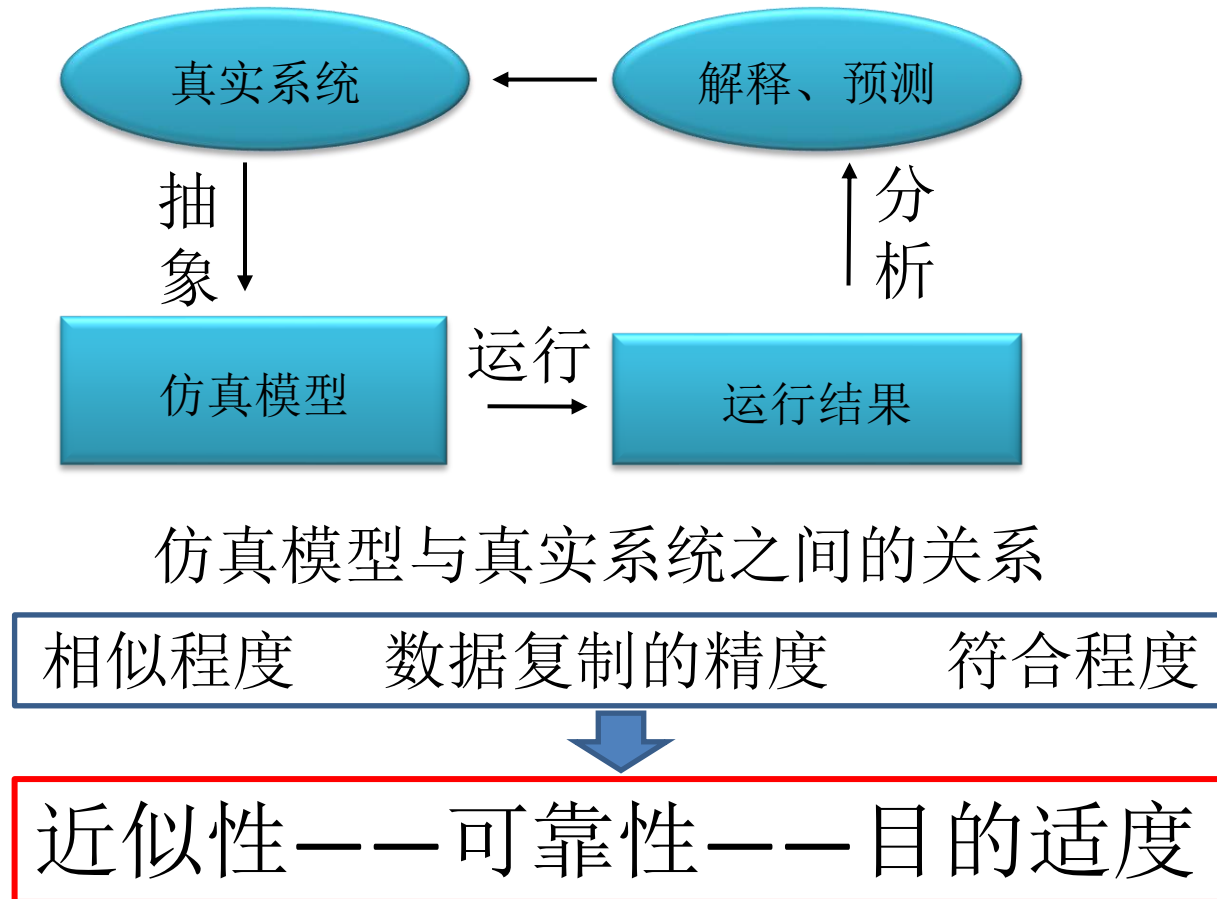
结构有效
structurally valid

对实际对象的详细结构有清楚理解，子系统构成、内部结构、相互作用等均相匹配。不但能观测实际系统的行为，而且能反映实际系统产生行为的操作过程。



一些重要概念：系统、模型与仿真

系统是要研究的对象，模型是系统在某种程度和层次上的抽象，而仿真则是通过对模型的实验以便分析、评价和优化系统。

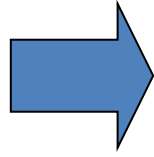


根据研究目标提供数据，即提供所研究的活动中产生的有效数据。



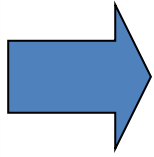
一些重要概念：仿真常用术语

实体



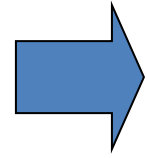
系统的对象、系统的组成元素都可以称为实体。（永久性、临时性）

资源



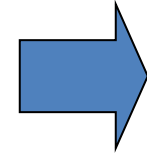
具备稀缺性、有用性能完成某种特定任务的实体称为资源

属性



属性反映实体的某些性质，它可以是文字型、数字型或逻辑型。

状态

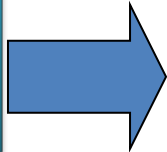


系统的状态是指在某一时刻实体及其属性值的集合。



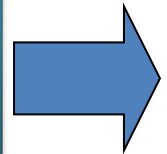
一些重要概念：仿真常用术语

活动



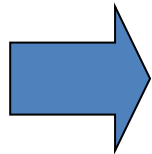
导致系统状态变化的一个过程为活动。活动反映了系统变化的规律。

事件



活动是指一段过程，即在一段时间内发生的情况。事件是指一个时间的情况，系统发生变化的瞬间就发生了事件。事件是驱动仿真模型运行的关键，如设备故障、任务完成等。

事件表

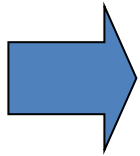


为了使仿真程序能如实地模拟实际系统的变化，在某些离散事件的仿真中，采用事件表的形式进行调度。事件表一般是一个有序的记录列，每个记录包括事件发生时间、事件类型等一些内容。



一些重要概念：仿真常用术语

仿真时钟



研究系统一般是为认识其状态随时间变化的规律，所以需要一个仿真时间变量。

对连续系统仿真时，常在均匀时间点上展现其状态值，这样，仿真时钟的步进是一个常数。

对离散系统仿真时，只有在事件发生时，系统的状态才会发生变化，才有必要展现出系统的状态，此时仿真时钟的步进根据事件发生的时刻变化。



一些重要概念：仿真常用术语

练习：

一个银行：假定我们关注这个银行内的ATM机情况

- 系统？
- 实体？
- 资源？
- 活动？
- 事件？
- 状态变量？



一个制造工厂：假定我们关注这个工厂的生产情况

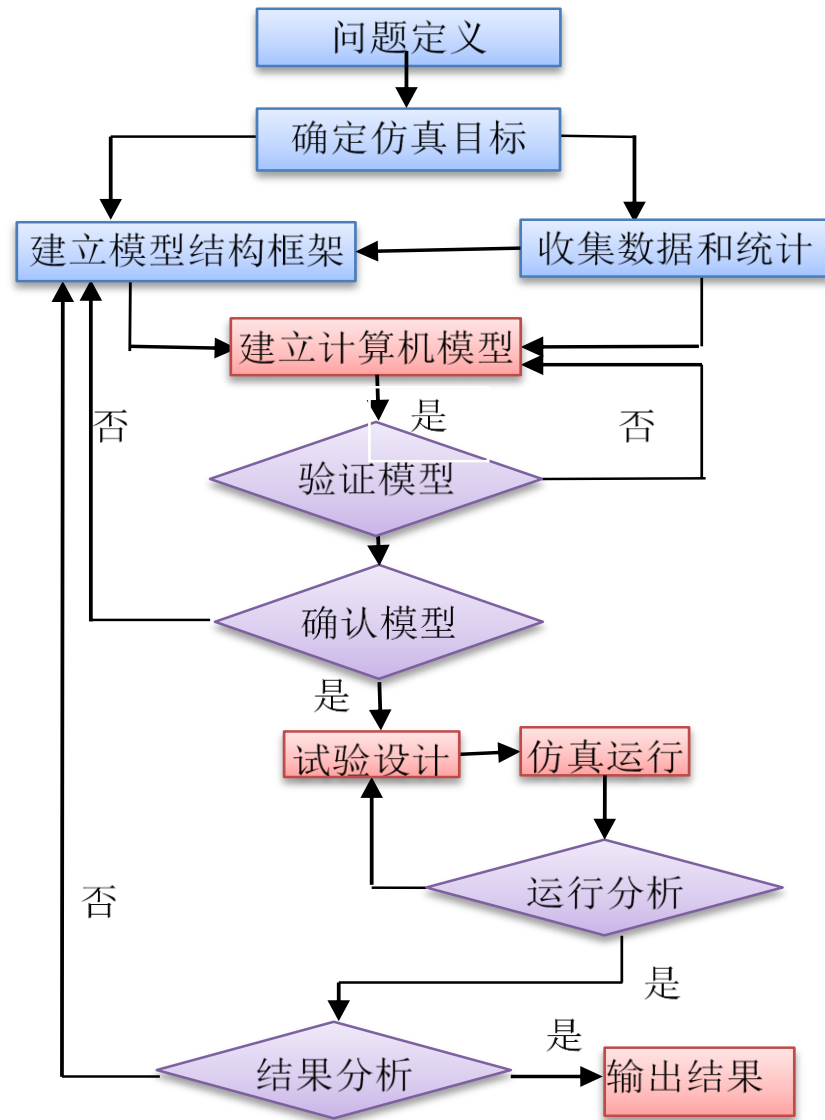
- 系统？
- 实体？
- 资源？
- 活动？
- 事件？
- 状态变量？



怎样做仿真？

建模的不唯一性
求解过程的实验性

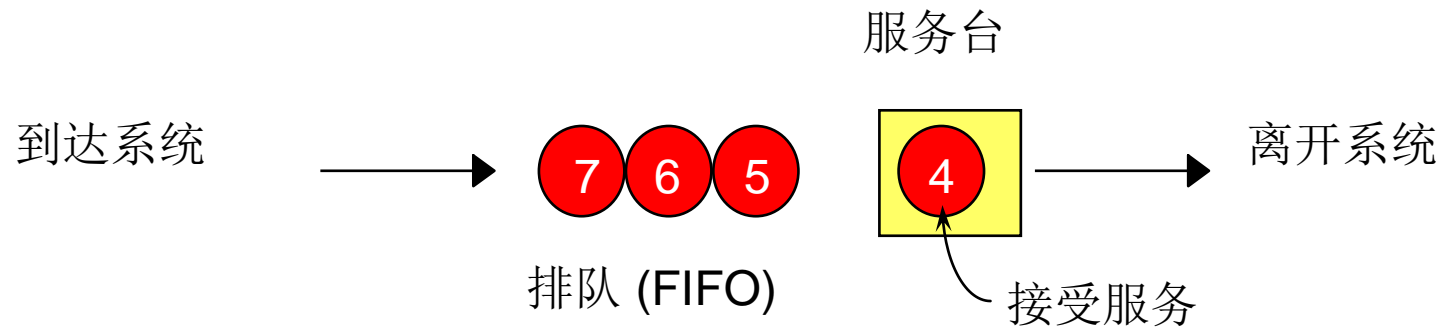
- ① 问题定义；
- ② 确定目标；
- ③ 收集数据和统计；
- ④ 建立模型结构框架；
- ⑤ 建立计算机模型；
- ⑥ 验证模型；
- ⑦ 确认模型；
- ⑧ 运行模型；
- ⑨ 分析输出。





一个手工仿真的小游戏

只有一个队列的服务过程，如：只开了一个服务窗口的银行、只有一台设备的加工厂……



□ 基本要求:

- 估算预期产出
- 排队时间、队列长度、服务台忙碌状态的时间比例





模型要求

- ❑ 系统初始状态为空，处于空闲状态
- ❑ 时间单位：分钟
- ❑ 到达时间：0.00, 6.84, 9.24, 11.94, 14.53
 - 间隔时间：6.84, 2.40, 2.70, 2.59, 0.73
- ❑ 服务时间：4.58, 2.96, 5.86, 3.21, 3.11
- ❑ 仿真到15分钟结束



研究目的：运营状况评估

- 完成服务的客户数(P)
- 客户在队列中的平均等待时间:

$$\frac{\sum_{i=1}^N D_i}{N}$$

N = 完成排队的人数

D_i = 第 i 个人的排队时间:

$D_1 = 0$ (why?)

$N \geq 1$ (why?)

- 客户在队伍中的最长排队时间:

$$\max_{i=1, \dots, N} D_i$$



研究目的：运营状况评估

□ 平均队长: $\frac{\int_0^{15} Q(t) dt}{15}$ $Q(t)$ = t时刻的排队人数

□ 最大队长: $\max_{0 \leq t \leq 15} Q(t)$

□ 平均和最大流程时间:

$\frac{\sum_{i=1}^P F_i}{P}$, $\max_{i=1, \dots, P} F_i$ F_i = 第i个人的流程时间



研究目的：运营状况评估

- ▣ 柜员利用率(忙状态的比例)

$$\frac{\int_0^{15} B(t) dt}{15} \quad B(t) = \begin{cases} 1 & \text{if the machine is busy at time } t \\ 0 & \text{if the machine is idle at time } t \end{cases}$$

- ▣ 其它可能的指标？



分析方法

根据经验猜测：

- ❑ 平均间隔时间= 3.05 分
- ❑ 平均服务时间= 3.94 分
- ❑ 模型最终会 “爆炸” (可能不是在15分钟内)
- ❑ 如果客户按固定速率到达、柜员按同一速率提供服务（服务时间<到达间隔时间）——永远不会产生队列！
- ❑ 事实 — 处于两个极端之间！
- ❑ 猜测具有很大的局限性！



机械仿真

- ❑ 各项操作（到达、接受服务等）与实际发生情况完全一样
- ❑ 事物的运动和变化在正确的时间、以正确的顺序发生
- ❑ 事物之间彼此产生正确的影响
- ❑ 安排一个“观察者”纪录变量的变化
- ❑ 直接、“强制”的对模型进行处理
- ❑ 没有神秘可言
 - 大量细节和数据的纪录
 - 仿真软件帮你完成这些纪录



仿真组成元素

□ 实体

- “参与者”，在系统中移动、改变状态、影响其它实体并被其它实体影响
- 动态物体：被创建出来，在系统中活动一段时间、离开系统

□ 资源

- 实体竞争的对象，人、设备、空间等
- 实体抢占资源、使用资源、释放资源

□ 事件

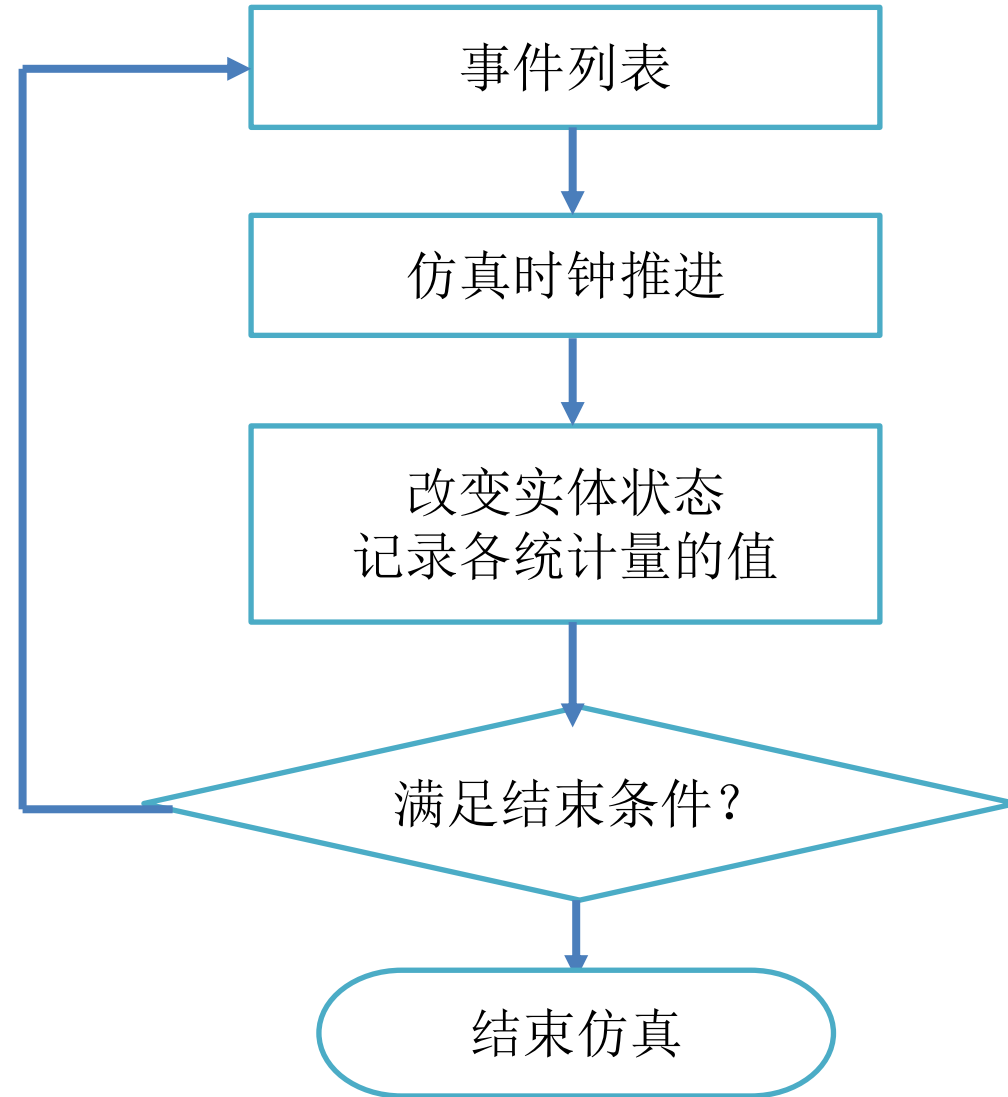
- 到达、离开

□ 统计累加器

- 跟踪仿真过程中各变量的值，得到输出性能指标



事件驱动的仿真





仿真推进过程

- 到达事件（客户到达系统）
 - 更新与时间相关的统计量
 - ✓ 排队人数 $Q(t)$
 - ✓ 最大排队人数 $Q(t)$
 - ✓ 柜员忙闲状态 $B(t)$
 - 记录当前时间
 - 如果柜员空闲:
 - ✓ 开始服务, 柜员状态改为忙碌($B(t)=1$), 排队总时间=0
 - 柜员忙碌
 - ✓ 客户置于队尾, 队列长度增加1
 - 从事件表中选取下一事件



仿真推进过程

- 离开事件 (服务结束)
 - 服务客户人数统计量+1
 - 计算总流程时间(系统当前时间-到达时间)
 - 更新时间有关变量
 - 如果队列不为空:
 - ✓ 取队列中的第1个人接受服务, 计算该客户排队总时间, 开始服务
 - 如果队列为空
 - ✓ 将柜员状态改为空闲
 - 从事件表中取下一事件




仿真推进过程




- 仿真时钟
- 事件表:
 - [实体编号, 事件时间, 事件类型]
- 状态变量: 描述当前状态
 - 柜员状态 $B(t) = 1$ 忙碌, 0 空闲
 - 排队人数 $Q(t)$
 - 队列中每个人的到达时间





仿真推进过程

系统 <div></div>	时钟	$B(t)$	$Q(t)$	开始排队的时间	事件表
完成排队的客户编号	总排队时间			$B(t)$ 曲线下面积	$Q(t)$ 曲线下面积
$B(t)$ 图					
$Q(t)$ 图					
到达间隔时间	6.84	2.40	2.70	2.59	0.73
服务时间	4.58	2.96	5.86	3.21	3.11

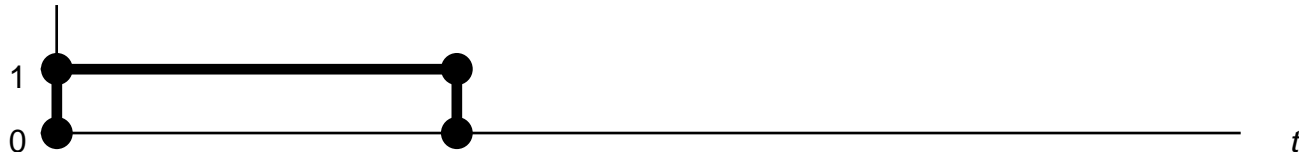

仿真推进过程——初始时刻: $t = 0.00$

System <div></div>	Clock 0.00	$B(t)$ 0	$Q(t)$ 0	Arrival times of custs in queue <empty>	Event calendar [1, 0.00, Arr] [-, 15.00, End]
No. of completed times in queue 0	Total of times in queue 0.00		Area under $B(t)$ 0.00		Area under $Q(t)$ 0.00
$B(t)$ graph					
$Q(t)$ graph					
Interarrival times	6.84 2.40 2.70 2.59 0.73				
Service times	4.58 2.96 5.86 3.21 3.11				

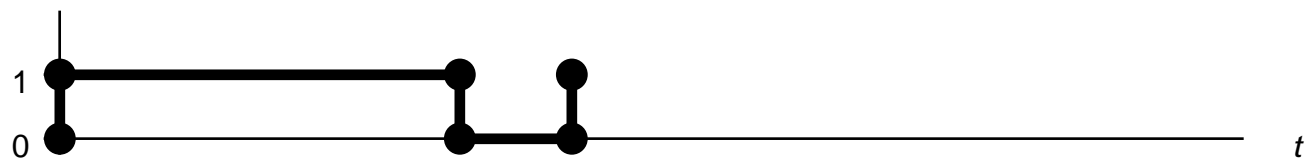
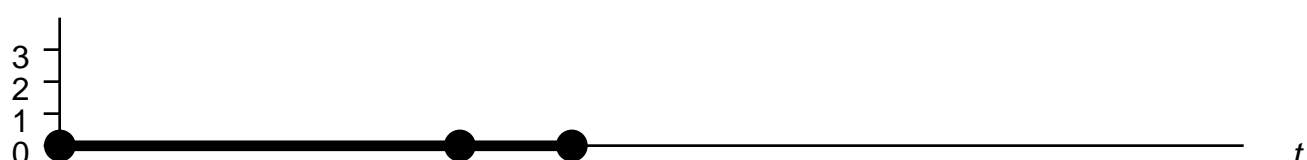
仿真推进过程—— $t = 0.00$ 时刻，第1个人到达

System <div><div></div><div>1</div></div>	Clock 0.00	$B(t)$ 1	$Q(t)$ 0	Arrival times of custs in queue <empty>	Event calendar [1, 4.58, Dep] [2, 6.84, Arr] [-, 15.00, End]
No. of completed times in queue 1	Total of times in queue 0.00		Area under $B(t)$ 0.00		Area under $Q(t)$ 0.00
$B(t)$ graph					
$Q(t)$ graph					
Interarrival times	6.84 2.40 2.70 2.59 0.73				
Service times	4.58 2.96 5.86 3.21 3.11				

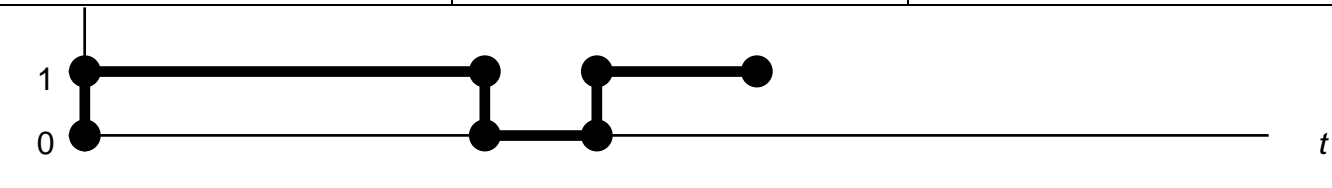
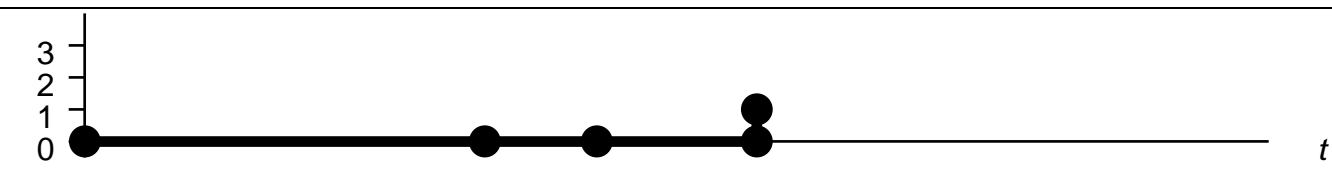
仿真推进过程—— $t = 4.58$ ，第1个人离开

System <div><div></div></div>	Clock 4.58	$B(t)$ 0	$Q(t)$ 0	Arrival times of custs in queue <empty>	Event calendar [2, 6.84, Arr] [-, 15.00, End]
No. of completed times in queue 1	Total of times in queue 0.00		Area under $B(t)$ 4.58		Area under $Q(t)$ 0.00
$B(t)$ graph					
$Q(t)$ graph					
Interarrival times	6.84 2.40 2.70 2.59 0.73				
Service times	4.58 2.96 5.86 3.21 3.11				

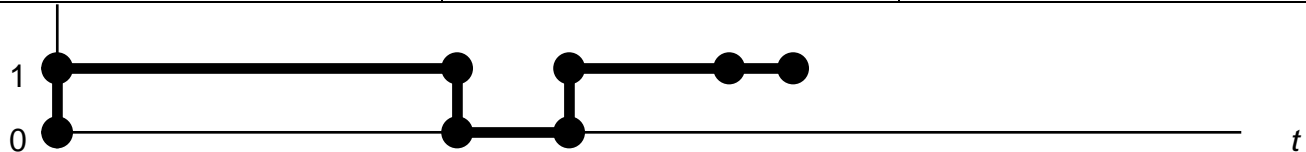
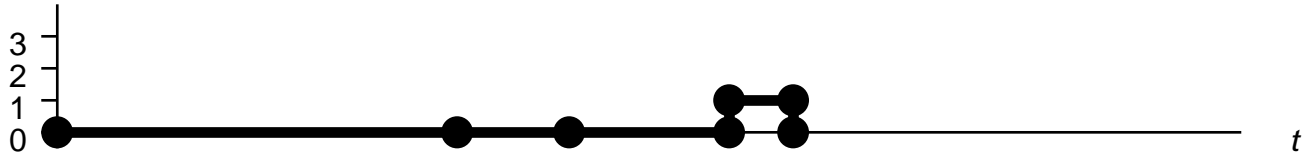
仿真推进过程—— $t = 6.84$ 第2个人到达

System <div><div>2</div></div>	Clock 6.84	$B(t)$ 1	$Q(t)$ 0	Arrival times of custs in queue <empty>	Event calendar [3, 9.24, Arr] [2, 9.80, Dep] [-, 15.00, End]
No. of completed times in queue 2	Total of times in queue 0.00		Area under $B(t)$ 4.58		Area under $Q(t)$ 0.00
$B(t)$ graph					
$Q(t)$ graph					
Interarrival times	6.84	2.40	2.70	2.59	0.73
Service times	4.58	2.96	5.86	3.21	3.11

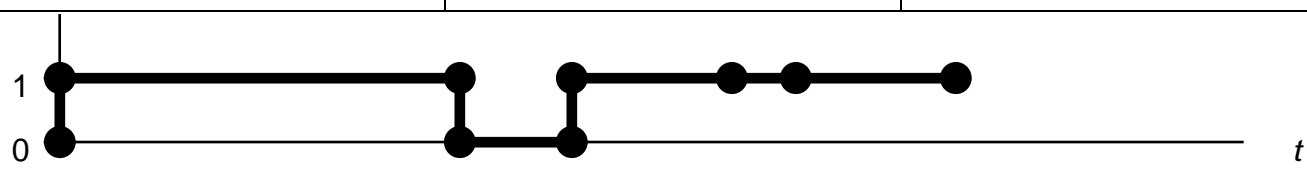
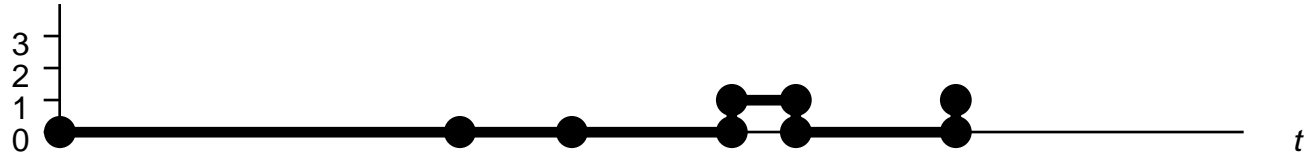
仿真推进过程—— $t = 9.24$ 第3个人到达

System <div><div>3</div><div>2</div></div>	Clock 9.24	$B(t)$ 1	$Q(t)$ 1	Arrival times of custs in queue 9.24	Event calendar [2, 9.80, Dep] [4, 11.94, Arr] [-, 15.00, End]
No. of completed times in queue 2	Total of times in queue 0.00		Area under $B(t)$ 6.98		Area under $Q(t)$ 0.00
$B(t)$ graph					
$Q(t)$ graph					
Interarrival times	6.84	2.40	2.70	2.59	0.73
Service times	4.58	2.96	5.86	3.21	3.11

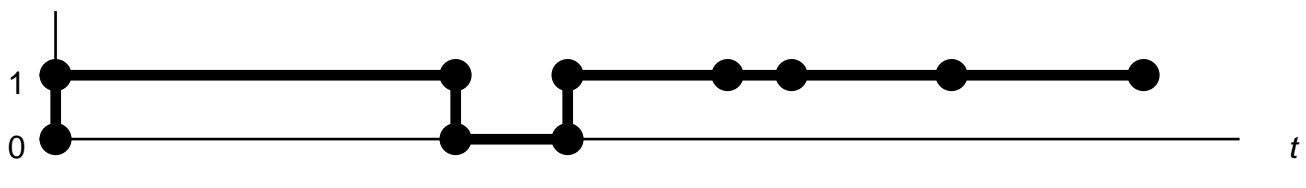
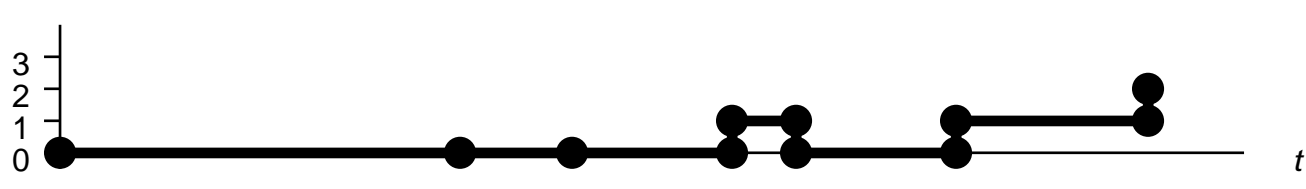
仿真推进过程——t = 9.80第2个人离开

System <div><div></div><div>3</div><div></div></div>	Clock 9.80	$B(t)$ 1	$Q(t)$ 0	Arrival times of custs in queue <empty>	Event calendar [4, 11.94, Arr] [-, 15.00, End] [3, 15.66, Dep]
No. of completed times in queue 3	Total of times in queue 0.56		Area under $B(t)$ 7.54		Area under $Q(t)$ 0.56
$B(t)$ graph					
$Q(t)$ graph					
Interarrival times	6.84	2.40	2.70	2.59	0.73
Service times	4.58	2.96	5.86	3.21	3.11

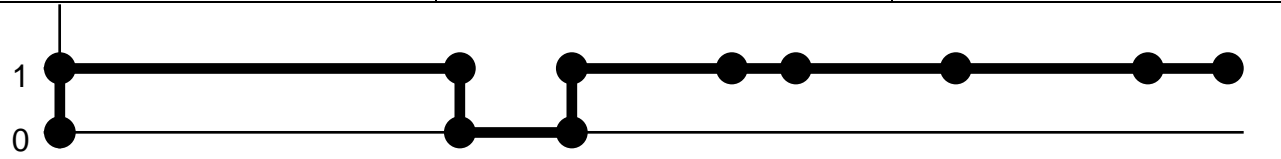
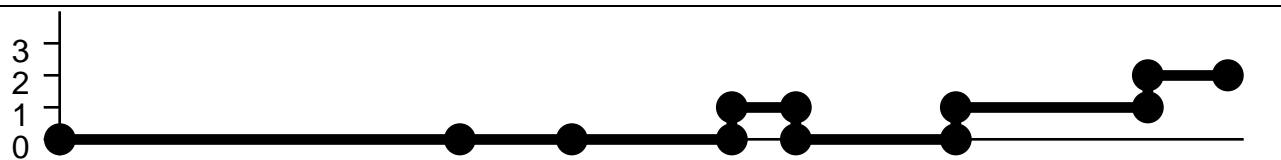
仿真推进过程——t = 11.94第4个人到达

System <div><div>4</div><div>3</div></div>	Clock 11.94	$B(t)$ 1	$Q(t)$ 1	Arrival times of custs in queue 11.94	Event calendar [5, 14.53, Arr] [-, 15.00, End] [3, 15.66, Dep]
No. of completed times in queue 3	Total of times in queue 0.56		Area under $B(t)$ 9.68		Area under $Q(t)$ 0.56
$B(t)$ graph					
$Q(t)$ graph					
Interarrival times	6.84 2.40 2.70 2.59 0.73				
Service times	4.58 2.96 5.86 3.21 3.11				

仿真推进过程——t = 14.53第5个人到达

System <div><div>5</div><div>4</div><div>3</div></div>	Clock 14.53	$B(t)$ 1	$Q(t)$ 2	Arrival times of custs in queue 14.53, 11.94	Event calendar [-, 15.00, End] [6, 15,26, Arr] [3, 15.66, Dep]
No. of completed times in queue 3	Total of times in queue 0.56		Area under $B(t)$ 12.27		Area under $Q(t)$ 3.15
$B(t)$ graph					
$Q(t)$ graph					
Interarrival times	6.84 2.40 2.70 2.59 0.78				
Service times	4.58 2.96 5.86 3.21 3.11				

仿真推进过程—— $t = 15.00$ 仿真结束

System <div><div>5</div><div>4</div><div><div>3</div></div></div>	Clock 15.00	$B(t)$ 1	$Q(t)$ 2	Arrival times of custs in queue 14.53, 11.94	Event calendar [6, 15,26, Arr] [3, 15.66, Dep]
No. of completed times in queue 3	Total of times in queue 0.56		Area under $B(t)$ 12.74		Area under $Q(t)$ 4.09
$B(t)$ graph					
$Q(t)$ graph					
Interarrival times	6.84 2.40 2.70 2.59 0.73				
Service times	4.58 2.96 5.86 3.21 3.11				

手工仿真结果

- 平均排队时间:

$$\frac{\text{Total of times in queue}}{\text{No. of times in queue completed}} = \frac{0.56}{3} = 0.19 \text{ min./part}$$

- 平均队长:

$$\square \frac{\text{Area under } Q(t) \text{ curve}}{\text{Final clock value}} = \frac{4.09}{15} = 0.27 \text{ part}$$

$$\frac{\text{Area under } B(t) \text{ curve}}{\text{Final clock value}} = \frac{12.74}{15} = 0.85 \text{ (dimensionless)}$$

手工仿真的完整记录

Just-Finished Event			Variables		Attributes		Statistical Accumulators									Event Calendar		
Entity No.	Time t	Event Type	$Q(t)$	$B(t)$	Arrival Times: (In Queue) In Service		P	N	ΣD	D^*	ΣF	F^*	f_Q	Q^*	f_B	[Entity No., Time, Type]		
–	0.00	Init	0	0	() —		0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0.00	[1, 0.00, Arr] [?, 15.00, End]		
1	0.00	Arr	0	1	() <u>0.00</u>		0	1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0.00	[1, 4.58, Dep] [2, 6.84, Arr] [?, 15.00, End]		
1	4.58	Dep	0	0	() —		1	1	0.00	0.00	4.58	4.58	0.00	0	4.58	[2, 6.84, Arr] [?, 15.00, End]		
2	6.84	Arr	0	1	() <u>6.84</u>		1	2	0.00	0.00	4.58	4.58	0.00	0	4.58	[3, 9.24, Arr] [2, 9.80, Dep] [?, 15.00, End]		
3	9.24	Arr	1	1	(9.24) <u>6.84</u>		1	2	0.00	0.00	4.58	4.58	0.00	1	6.98	[2, 9.80, Dep] [4, 11.94, Arr] [?, 15.00, End]		
2	9.80	Dep	0	1	() <u>9.24</u>		2	3	0.56	0.56	7.54	4.58	0.56	1	7.54	[4, 11.94, Arr] [?, 15.00, End] [3, 15.66, Dep]		
4	11.94	Arr	1	1	(11.94) <u>9.24</u>		2	3	0.56	0.56	7.54	4.58	0.56	1	9.68	[5, 14.53, Arr] [?, 15.00, End] [3, 15.66, Dep]		
5	14.53	Arr	2	1	(14.53, 11.94) <u>9.24</u>		2	3	0.56	0.56	7.54	4.58	3.15	2	12.27	[?, 15.00, End] [6, 15.26, Arr] [3, 15.66, Dep]		
–	15.00	End	2	1	(14.53, 11.94) <u>9.24</u>		2	3	0.56	0.56	7.54	4.58	4.09	2	12.74	[6, 15.26, Arr] [3, 15.66, Dep]		



思考

- 仿真结果可信吗？
- 如何提高仿真结果的可信度？

谢谢!

Thank you

