

实验二 离散事件系统仿真实验

目录

实验题目.....	1
一、实验目标.....	1
二、实验原理.....	1
1. 排队系统的一般理论.....	1
2. 离散系统常用的仿真策略.....	2
3. 本实验采用单服务台模型.....	3
4. 仿真运行方式.....	3
三、理论分析.....	4
1. 涉及的基本概念.....	4
2. 仿真的总体规划设计.....	5
四、建模过程.....	7
1. 思路分析.....	7
2. 仿真策略.....	7
3. 事件列表.....	8
4. 变量定义.....	8
5. 系统流程框图.....	9
五、仿真源程序（Matlab）.....	10
六、结果分析.....	12
七、感受及建议.....	15

实验题目

实体（临时实体）到达模式：实体到达模式是顾客到达模式，设到达时间间隔 A_i 服从均值 $\beta_A = 5 \text{ min}$ 的指数分布

$$f(A) = \frac{1}{\beta_A} e^{-A/\beta_A} (A \geq 0)$$

服务模式：设服务员为每个顾客服务的时间为 S_i 。它也服从指数分布，均值为 $\beta_s = 4 \text{ min}$

$$f(S) = \frac{1}{\beta_s} e^{-S/\beta_s} (S \geq 0)$$

服务规则：由于是单服务台系统，考虑系统顾客按单队排列，并按 FIFO 方式服务

一、实验目标

通过单服务台排队系统的方针，理解和掌握对离散事件的仿真建模方法，以便对其他系统进行建模，并对其系统分析，应用到实际系统，对实际系统进行理论指导。

二、实验原理

1. 排队系统的一般理论

一般的排队系统都有三个基本组成部分：

- (1) 到达模式：指动态实体（顾客）按怎样的规律到达，描写实体到达的统计特性。通常假定顾客总体是无限的。
- (2) 服务机构：指同一时刻有多少服务设备可以接纳动态实体，它们的服务需要多少时间。它也具有一定的分布特性。通常，假定系统的容量（包括正在服务的人数加上在等待线等待的人数）是无限的。
- (3) 排队规则：指对下一个实体服务的选择原则。通用的排队规则包括先进先出（FIFO），后进先出（LIFO），随机服务（SIRO）等。

2. 离散系统常用的仿真策略

- (1) 事件调度法（Event Scheduling）：

基本思想：离散事件系统中最基本的概念是事件，事件发生引起系统状态的变化，用事件的观点来分析真实系统。通过定义事件或每个事件发生系统状态的变化，按时间顺序确定并执行每个事件发生时有关逻辑关系。

- (2) 活动扫描法：

基本思想：系统有成分组成，而成分又包含活动。活动的发生必须满足某些条件，且每一个主动成分均有一个相应的活动例程。仿真过程中，活动的发生时间也作为条件之一，而且较之其他条件具有更高的优先权。

- (3) 进程交互法：

基本思想：将模型中的主动成分历经系统所发生的事件及活动，按时间发生的顺序进行组合，从而形成进程表。系统仿真钟的推进采

用两张进程表，一是当前事件表，二是将来事件表。

3. 本实验采用单服务台模型

- (1) 到达模式：顾客源是无限的，顾客单个到达，相互独立，一定时间的到达数服从指数分布。
- (2) 排队规则：单队，且对队列长度没有限制，先到先服务的 FIFO 规则。
- (3) 服务机构：单服务台，各顾客的服务时间相互独立，服从相同的指数分布。
- (4) 到达时间间隔和服务时间是相互独立的。

4. 仿真运行方式

仿真运行方式可分为两大类：

- (1) 终止型仿真：仿真的运行长度是事先确定的

由于仿真运行时间长度有限，系统的性能与运行长度有关，系统的初始状态对系统性能的影响是不能忽略的。为了消除由于初始状态对系统性能估计造成的影响，需要多次独立运行仿真模型。

- (2) 稳态型仿真：这类仿真研究仅运行一次，但运行长度却是足够长，仿真的目的是估计系统的稳态性能。

三、理论分析

1. 涉及的基本概念

实体：离散事件系统中实体分为两类：临时实体，在系统中只存在一段时间的实体，这类实体由系统外部到达系统，通过系统，最终离开系统；永久实体，永久驻留在系统中的实体，只要系统处于活动状态，这些实体就存在，永久实体是系统处于活动的必要条件。

事件：是引起系统状态发生变化的行为，从某种意义上讲，这类系统是由事件来驱动的。在仿真模型中，由于是依靠事件来驱动，除了系统中固有事件外，还有所谓“程序事件”，它用于控制仿真进程。

活动：用于表示两个可以区分的事件之间的过程，它标志着系统状态的转移。

进程：进程由若干个事件及若干活动组成，一个进程描述了它所包括的事件及活动间的相互逻辑关系及时间关系。一个顾客到达系统，经过排队，直到服务员为其服务完毕后离去称为一个进程。如下图：

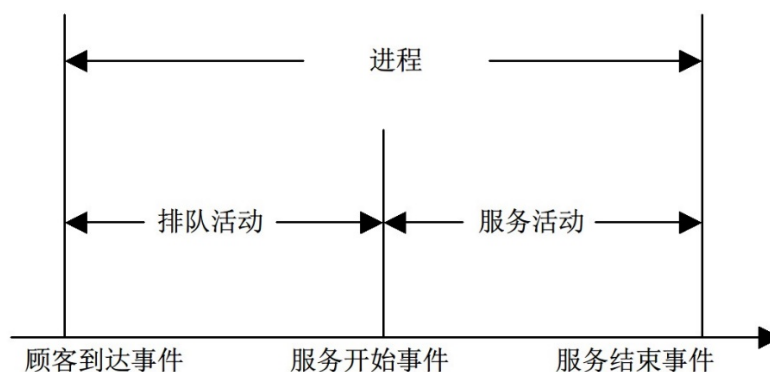


图 3.1 事件、活动、进程间的关系示意图

仿真钟：用以表示仿真时间的变化，是仿真模型中时间控制部件。

仿真钟的推进呈现跳跃性，推进速度具有随机性。

统计计数器：离散事件系统某一次仿真运行得到的状态变化过程只不过是随机过程的一次取样，因而如果进行另一次独立的仿真运行所得到的状态变化过程可能完全是另一种情况，它们只有在统计意义下才有参考价值，需要有一个统计计数部件，以便统计系统中的有关变量。

离散事件系统不同于连续时间系统，这类系统中的状态只是在离散时间点上发生变化，而且这些离散时间点一般是不确定的。由于离散事件系统固有的随机性，这类系统要用到经典的概率及数理统计理论、随机过程理论及计算机仿真技术等。

指数分布：其重要特征是无记忆性（Memoryless Property，又称遗失记忆性）。这表示如果一个随机变量呈指数分布，它的条件概率遵循：

$$P(T > s+t | T > t) = P(T > s) \quad s, t \geq 0$$

2. 仿真的总体规划设计

本实验是采用事件调度法，事件调度法共有三种事件：即“顾客到达”、“服务开始”、“服务结束”。其中“服务开始”为条件事件，其条件是“顾客队列长度不为零且服务员空闲”。在用事件调度法时，不单独考虑条件事件，而将其并入非条件事件中。因此，需要考虑的事件例程有“顾客到达时间例程”和“服务结束时间例程”。“顾客到达时间例程”和“服务结束时间例程”如图 3.2 和图 3.3：

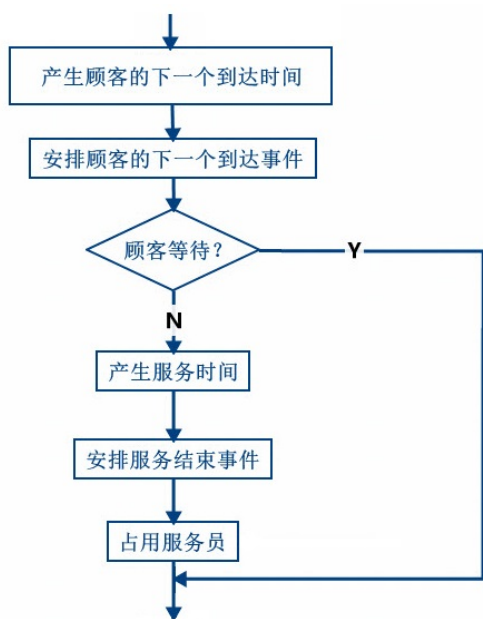


图 3.2 顾客到达事件例程

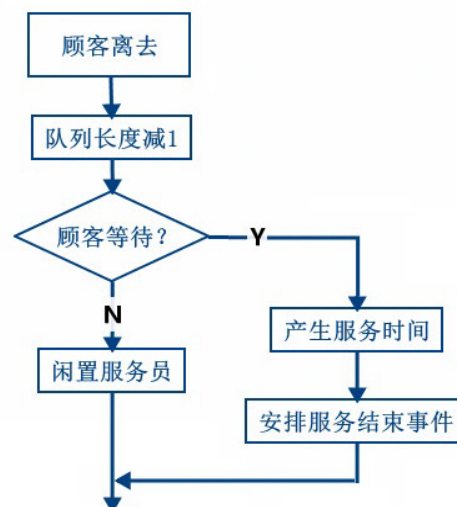


图 3.3 服务结束事件例程

事件调度法的程序结构设计如下：

(1) 初始化。

- 设置仿真的开始时间 t_0 和结束时间 t_f ；
- 设置实体的初始化状态；
- 设置初始事件及其发生时间 t_s 。

(2) 仿真时钟 $\text{TIME} = t_s$ 。

(3) 确定在当前时钟 TIME 下发生的事件类型 $E_i (i = 1, 2, 3, \dots, n)$ ，并按解结规则排序。

(4) 如果 $\text{TIME} \leq t_f$ 执行。

{

case E1: 执行 E1 的事件例程；产生后续事件类型及发生时间；

.....

case En: 执行 En 的事件例程；产生后续事件类型及发生时间；

}

否则，转(6).

(5) 将仿真时钟 **TIME** 推进到下一最早事件发生时刻；转(3)。

(6) 结束仿真。

四、建模过程

1. 思路分析

本实验采用事件调度法来研究单服务台排队系统。顾客逐个到达服务台，且相邻两个顾客到达服务台的时间间隔服从参数为 5 min 的指数分布。到达服务台后，若这时服务员空闲，则为其提供服务，若此时服务员正在为其他顾客服务，则刚到的顾客排队等待。服务员为每位顾客服务的时间长度服从参数为 4 min 的指数分布。

本实验使用 Matlab 软件进行建模仿真，用 `exprnd` 函数生成符合指数分布的随机数。用三个空白数组分别存储第 *i* 个顾客引起的三种事件先后发生的时刻，对获得的参数按照时间顺序进行整理和分析，可以得出平均队长、平均等待时间等重要参数。

以上是本实验程序的基本思路，详细内容可参见本实验程序。

2. 仿真策略

本次系统仿真采用事件调度法来对系统仿真，根据事件的发生引起系统状态的变化，用事件的观点来分析真实系统，通过定义事件即每个事件发生对系统状态的变化，按时间顺序确定并执行每个事件发生时有关的逻辑关系。

按该策略建立模型时，所有事件均放在事件表中。模型中设有一个时间控制成分，该成分从事件表中选择具有最早发生时间的事件，并将仿真钟修改到该事件发生的时间。再调用与该事件相应的事件处理模块，该事件处理完后返回时间控制成分，这样，事件的选择与处理不断地进行，直到仿真终止条件或程序事件产生为止。

3. 事件列表

时间	事件	排队队长	服务员状态
0	仿真开始	0	空闲
1.11	顾客 1 到达	0	空闲
1.11	顾客 1 接受服务	0	工作
3.59	顾客 2 到达	1	工作
7.10	顾客 1 离去	1	工作
7.10	顾客 2 接受服务	0	工作
8.15	顾客 2 离去	0	空闲
...

4. 变量定义

i ——第 i 个顾客；

t_0 ——仿真开始时间；

T ——仿真结束时间；

Arrive ——顾客到达事件；

Serve ——服务开始事件；
Leave ——服务结束事件；
Tarrv ——第 i 个顾客到达的时刻；
Tleave ——第 i 个顾客服务结束的时刻；
Twait ——第 i 个顾客排队等待的时间；
Nwait ——第 i 个顾客接受服务时的队长；
WaitNum ——平均队长；
WaitTime ——平均等待时间。

5. 系统流程框图

为了更好地理解单服务台排队系统的运行机理，我们一般在程序设计前会对系统有所了解，并画出系统流程框架图。单服务台排队系统的流程框架图如下：

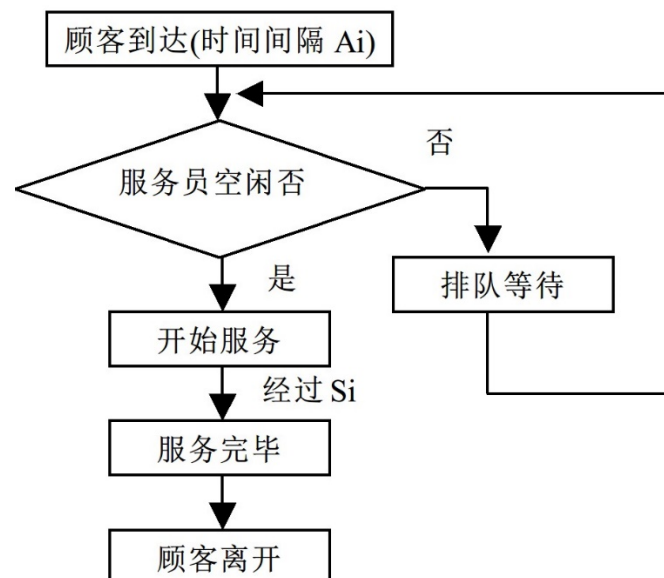


图 4-1 系统流程框图

五、仿真源程序（Matlab）

在 Matlab 中建立 m 文件，编写如下的函数：

```
function []=Queue(T)
% T-仿真长度（min）
mu1=5; %顾客到达时间间隔（指数分布）的均值为5min
mu2=4; %服务时间（指数分布）均值为4min
Twait=[]; %每个顾客的等待时间
Nwait=[]; %每个顾客接受服务时的队长
Arrive=[]; %顾客到达事件
Serve=[]; %服务开始事件
Leave=[]; %服务结束事件

%=====初始化=====
i=0;
t0=0;
TIME=0;
WaitNum=0;
WaitTime=0;
Tarrv=t0+exprnd(mu1);
Tleave=Tarrv+exprnd(mu2);
Arrive=[Arrive,Tarrv];
Serve=[Serve,Tarrv];

while TIME< T
    i=i+1;
    Tarrv=Tarrv+exprnd(mu1); %确定下一顾客到达时刻

    手动删除，不要总想着copy

    if Leave(i)<=Arrive(i+1) %服务员空闲，无需排队

        手动删除

    else %服务员忙碌，需要排队

        手动删除

    end
```

```

end

% 平均等待时间
for j=1:i
    Twait(j)=Serve(j)-Arrive(j);
    WaitTime=WaitTime+Twait(j);
end
WaitTime=WaitTime/i

% 平均队长
for m=1:i
    k=0;
    for n=m+1:i
        if Leave(m)>Arrive(n)
            k=k+1;
        else
            break;
        end
    end
    Nwait(m)=k;
    WaitNum=WaitNum+Nwait(m);
end
WaitNum=WaitNum/i

% 绘图
subplot(1,2,1);
plot(Twait);
subplot(1,2,2);
plot(Nwait);

end

```

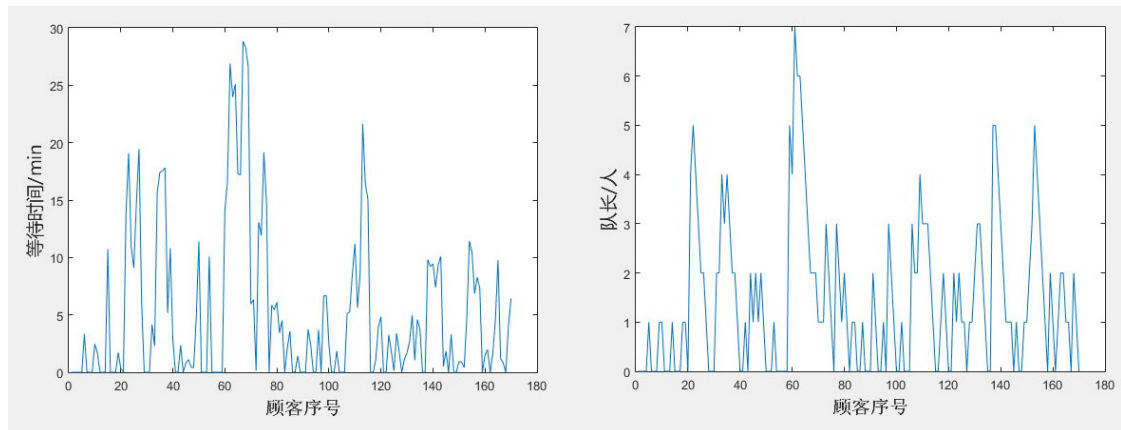
六、结果分析

在本实验中，仿真长度分别为 1000、2000、3000 和 5000，模拟输出的参数有：每个顾客接受服务时的队伍长度、每个顾客的等待时间、平均等待时间 T_{wait} 和平均队长 $WaitNum$ 。

调用上面编写的 Queue 函数，在 Matlab R2015a Command Window 中分别输入以下内容：

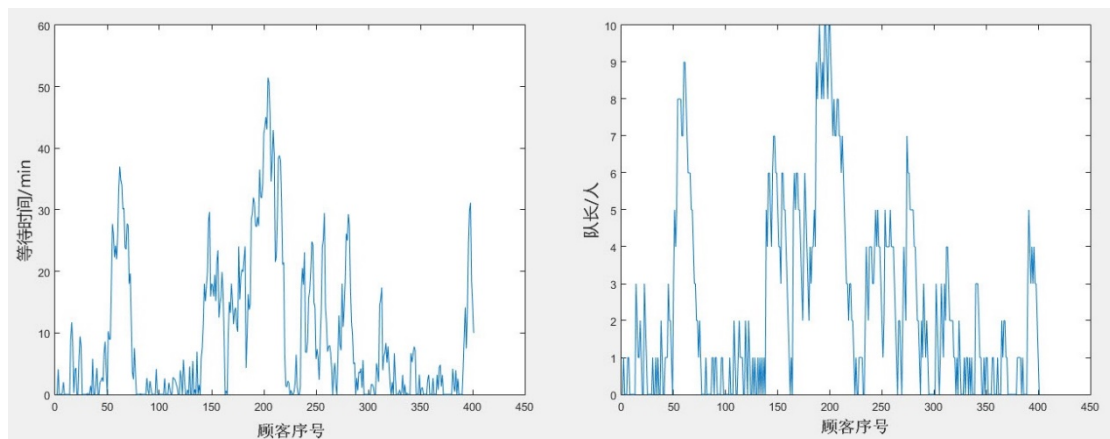
输入：Queue(1000)

输出：Twait=5.1512； WaitNum=1.4353



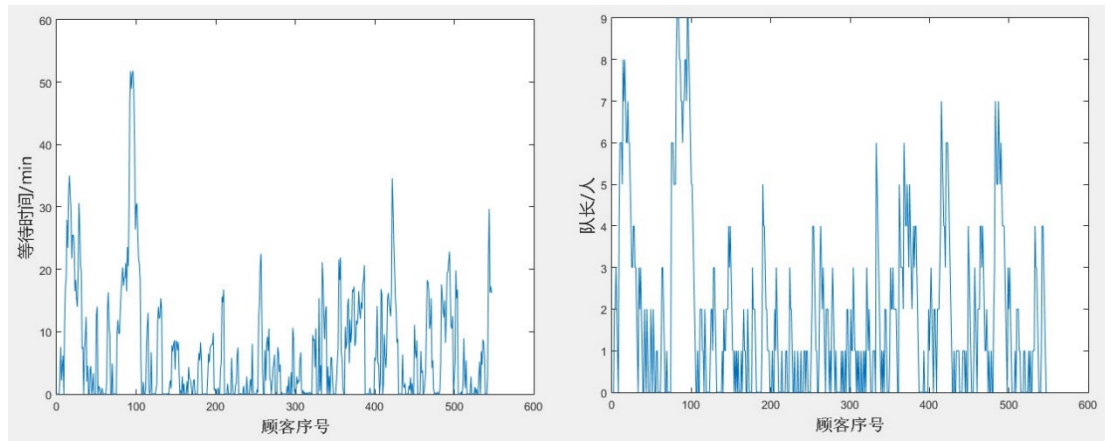
输入：Queue(2000)

输出：Twait=9.1404； WaitNum=2.4289



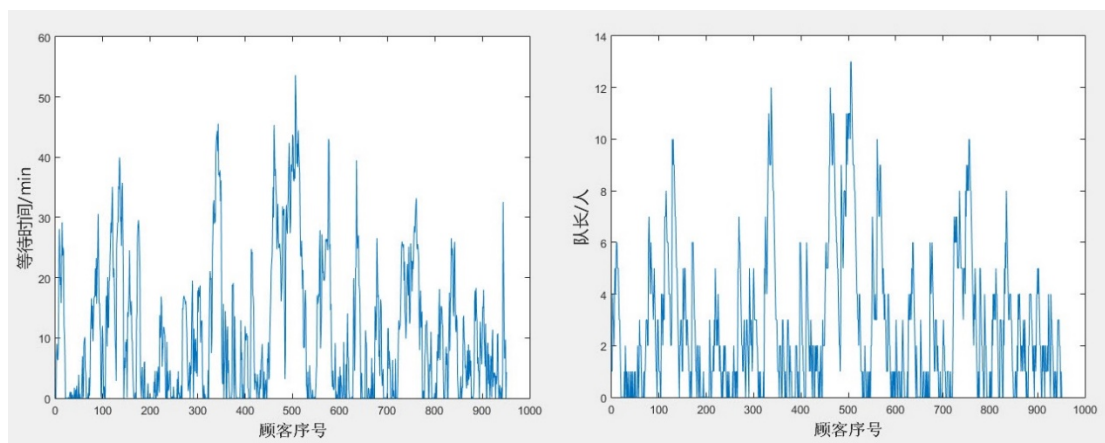
输入: Queue(3000)

输出: Twait=6.7257; WaitNum=1.8355



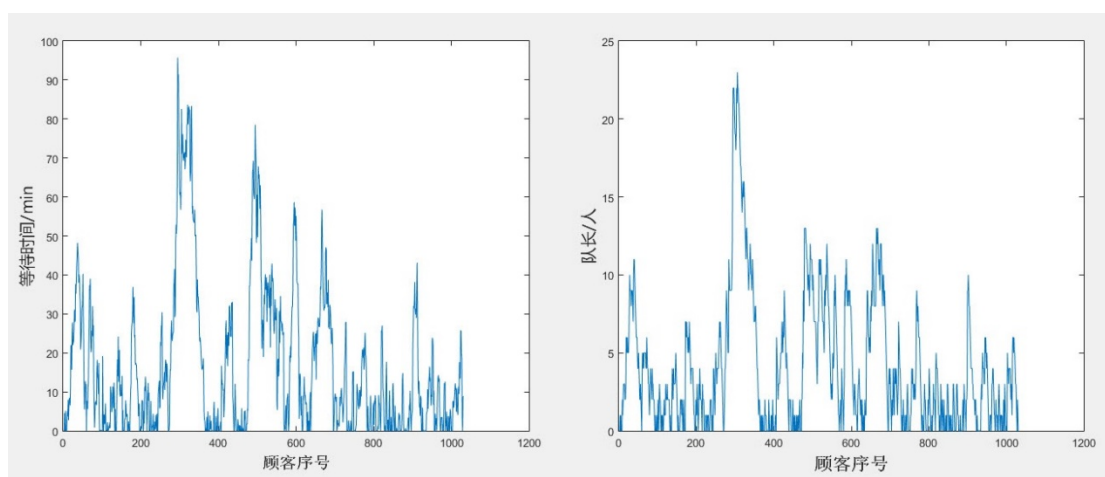
输入: Queue(5000)

输出: Twait=10.5494; WaitNum=2.7518



输入: Queue(5000)

输出: Twait=16.6496; WaitNum=4.0863



从以上几幅图片可以看出，在模拟过程中，队伍的长度大多数情况下都保持在 10 人以下，并有相当一部分人到达时的队伍长度为 0。队伍人数最多时也保持在 25 人以内，造成队伍人数增多的主要原因有两个：该时间段内，顾客的到达的数目较多或顾客的受服务时间较长，或是两种因素共同作用。因为相邻顾客间的到达时间间隔和顾客的受服务时间均是满足指数分布的，所以相邻顾客间的到达时间间隔和顾客的受服务时间都具有不均匀性。

在本实验的仿真中，顾客等待时间大多数在 30 min 以内，但等待时间最长的顾客等待时间达到了 100 min 左右。顾客等待时间的长度是队伍长度的反映，队伍越长，队伍后面的顾客所需等待的时间的期望值也就越高。

本实验中，随着仿真长度的增加，平均等待时间和平均队长并没有趋于稳定，而是呈现波动。合理的解释是因为每次仿真时两个指数分布生成的随机数的大小具有不确定性，且相互耦合后使得情况更加复杂。为了证明以上观点，在仿真长度为 5000 min 时进行了两次仿真实验，得到的平均队长分别为 2.75 人和 4.08 人，差别很明显。进一步观察这两次仿真生成的图像，最大等待时间分别为 55 min 和 95 min，最长队长分别为 13 人和 23 人。因此，不同仿真实验的数据会呈现波动，即使仿真长度相同，其结果也具有一定的随机性。

七、感受及建议

原以为本次题目会像老师所描述的那般简单，但发现自己太天真。为追求进度，在没有充分理解掌握事件调度法的时候，我就开始编程。结果调试了两天代码还是不能得到满意的结果。遂决定痛改前非，认真学习了课件，查阅了图书馆里关于系统仿真的书籍。画出仿真钟推进图后，编程思路就豁然开朗，重新设计了算法，顺利完成了调试。

上一次实验用 C++ 编程，但发现对于工程问题，C++ 不如 Matlab 强大。Matlab 绘图操作非常简单，省去了大量的收据整理的时间。虽然自己对 Matlab 的操作语言不大熟练，但只要用好搜索引擎，许多技术实现问题都能迎刃而解。

通过准备这次实验，让我学习和巩固离散事件系统的仿真知识，尤其是对单服务台排队系统的仿真有了一个深入的了解。最重要的收获是完成了一份很有实际意义的仿真实验，这份实验得出的数据是可以应用到现实生活中去，用来指导实践。