

# 疫情传播与疫苗接种仿真实验

2020年2月初，b站up主Ela实验室推出了《计算机仿真程序告诉你现在为什么还没到出门的时候!!!》<sup>1</sup>的短视频，对疫情传播做了简单的建模，通过计算机仿真程序来展示各种假设下疫情的传播情况。这个视频被人民日报、央视新闻等官方媒体转发宣传，达到百万播放量。

## 1. 实验要求

本次作业参考Ela实验室提出的模型，在此模型上进行修改和完善，请同学们根据提供的模型完成计算机仿真程序，观察不同参数下（疫苗接种率 $p_{vac}$ 、疫苗保护率 $p_{pt}$ 、不同医院床位数、移动意愿 $p_{move}$ 、传播率 $p_{inf}$ ）的疫情发展情况。要求通过曲线展现出连续30天的累计确诊人数、现存确诊人数、死亡人数的变化情况。本题可以调用编程语言提供的随机数函数，可以参考开源代码，但是要注意我们的模型与它的差别。

给分说明：

完成“疫情传播问题的模型”部分占第三次实验一半分数（与必做题目得分合计为本次实验总分）

- 正确实现给定参数下疫情的仿真，展示出连续30天累计确诊人数、现存确诊人数、死亡人数变化情况。（占比60%）
  - 对不同参数下模型输出结果进行分析与对比，如提高疫苗接种率，疫苗保护率等对确诊人数和死亡人数的影响，实现群体免疫需要多高的疫苗接种率等。（占比40%）
- 完成“进阶版本-选做”最多可在总分中加2分。
- 实现参考思路中的2项可得70%附加分。
  - 实现更多参考思路可得剩余30%附加分。
  - 如有参考思路之外的创新性想法可不按照参考思路完成进阶版本，将根据想法的创新程度和完成情况给100%附加分。

## 2. 疫情传播问题的模型

这是一个离散仿真模型。仿真钟每前进一步，对应度过现实世界的 $\frac{1}{10}$ 天。

### （1）城市与人口分布

在一个 $700 \times 800$ 格点大小的城市，5000人口呈高斯分布散落在城市中，高斯分布以(400,400)为均值，以100为横向和纵向的标准差。注意要做取整处理，因为空间上是离散的，人员位置用城市格点来表示。

初始感染（未确诊）人数为50。

在郊区有一所用于收治隔离确诊患者的医院，医院有一定数量的床位。

### （2）人员移动

人员的移动情况与移动意愿有关，在任一时刻，每个人移动的概率都为 $p_{move}$ 。

当前时刻选择移动的人员将向着目的地移动，但是横向最多移动1个格点，纵向也是最多移动1个格点。

---

<sup>1</sup> <https://www.bilibili.com/video/BV1i7411s74Y?from=search&seid=16947732762887309614>

人员已抵达目的地且当前时刻选择移动时，将要选择新的目的地。目的地通过以当前坐标为均值、50 为标准差的高斯分布随机选取。

人员不能超出城市边界，移动到城市边界后，如果下一时刻的移动超出边界，则选择留在原地不动。

被医院收治的患者不能移动。

### (3) 人员状态

人员状态可分为以下几种：健康未感染，已感染未确诊(潜伏期)，确诊，住院，健康痊愈，死亡。下图简单展示了状态转移方向，下面对转移过程做具体的说明。

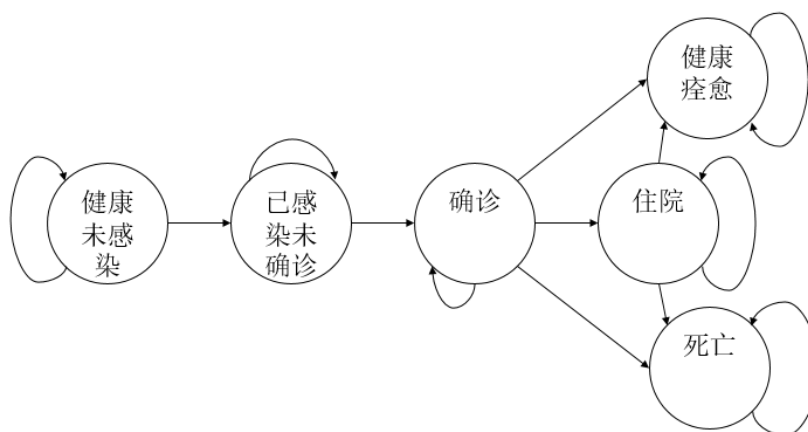


图 1

健康未感染的人转为潜伏期患者的取决于是否与病毒携带者接触及感染的概率：当健康未感染人在某一时刻与潜伏期、确诊患者(未收治)小于安全距离（欧式距离小于 2）时，他将有概率 $p_{inf}$ （没有接种疫苗）或 $1 - p_{pt}$ （接种疫苗）被病毒感染。

已感染未确诊患者的潜伏期天数服从均值为7，标准差为2的高斯分布（注意单位是天）。潜伏期一过即转为确诊状态。

对于确诊患者，医院一旦有空床则转为住院状态。否则，患者每一时刻有 20%的概率转向痊愈，有 10%的概率转向死亡。

住院患者在经过 $X$ 天的治疗后，有 2%转向死亡，98%转向痊愈。 $X$ 是服从均值为 14，标准差为 1 的高斯分布的随机变量（注意单位是天）。

住院患者死亡和痊愈都会释放医院床位。

痊愈患者将不再感染病毒，也不具有病毒传播性，因此放回城市的任一位置都不会对本题模型的病毒传播造成影响，也可自行选择处理方式（如等效为打过一次疫苗）。

### 3. 进阶版本-选做(截止日期为第 4 次实验展示当天)

以上是基础版本，模型比较简单，与真实情况有较大差距。同学们可以对模型做更细致的补充，实现进阶版本。同学们可以选择直接完成进阶版本，而不需要先完成基础版本。在第 3 次实验展示时展示一下进度。进阶版本参考思路如下：

1. 可视化。
2. 同一城市接种不同保护率疫苗的效果。

3. 多座城市。
4. 当有患者被确诊时，他的密切接触者会接到通知进行自我隔离观察，此时移动性、传染性较低。但是在知道自己是密切接触者之前，活动并不受影响。
5. 确诊未收治患者自我隔离，使得移动性、传染性较低。
6. 存在无症状感染者，他们有一定的概率被发现，然后隔离进行医学观察，这种情况下不具有移动性和传染性。否则，活动和传染性并不受影响。
7. 其他符合实际的假设。