

关于应用 Monte Carlo 模型预测 甲型 H1N1 流感的研究

孙晓北 杜然然 曾志 武桢 李明

摘要 **目的** 本研究通过构建甲型 H1N1 流感的 Monte Carlo 模型,对流感疫情进行预测,将预测值与实际统计数据进行比较,探讨、分析建模过程中的问题及建模方法。**方法** 根据我国某直辖市甲型 H1N1 流感疫情及流行病统计数据,分析该市甲型 H1N1 流感传播流程,应用 Monte Carlo 方法构建甲型 H1N1 流感预测模型及预测程序并对甲型 H1N1 流感疫情进行预测,将预测值与实际值进行比较。**结果** 预测显示该市甲型 H1N1 流感疫情在 9~10 月最为严重,日感染人数、确诊人数峰值分别为 214 人、150 人,经比较预测值曲线与实际值曲线吻合良好。**结论** 应用 Monte Carlo 方法建立甲型 H1N1 流感预测模型,预测效果好。准确描述甲型 H1N1 流感传播流程、合理设置模型参数、正确模拟其概率过程是建模关键。

关键词 Monte Carlo 甲型 H1N1 流感 建模 预测

Study on Predication of H1N1 Influnze in Monte Carlo Modle. Sun Xiaobei, Du Ranran, Zeng Zhi, Wu Zhen, Li Ming. Chinese Academy of Medical Science Institute of Medical Information, Beijing 100020 China

Abstract Objective The aim of this study is to predict flu epidemic situation through constructing the Monte Carlo model of A/H1N1 flu, and analyze problems and methods in the process of modeling by comparing with actual statistical data. **Methods** Based on flu epidemic situation and statistical data in a municipality of China, we analyzed the flu propagation process. Then we predicted epidemic situation of A/H1N1 flu by constructing the A/H1N1 Flu Monte Carlo model and prediction program, and compared the predictive value with the actual value. **Results** The prediction results showed that A/H1N1 flu epidemic situation would be the most serious in September and October in the city. The infection number and number of confirmed cases per day would be 214 and 150 respectively. The prediction curve and actual curve anatomized well by comparison. **Conclusion** Satisfactory results can be obtained by constructing A/H1N1 flu prediction model applying the Monte Carlo method. The key points of modeling are accurate description of flu propagation process, and simulation of its rate process.

Key words Monte Carlo; A/H1N1 flu; Modeling; Prediction

2009 年 4 月,甲型 H1N1 流感在墨西哥、美国、加拿大等国暴发,疫情在全球迅速蔓延^[1]。流行病预测是对其流行情况及其可能出现的变化作出事先推论和判断,科学、准确地预测,有针对性地采取防疫措施,可控制疾病流行、减少人群发病及死亡数量。本研究旨在建立甲型 H1N1 流感 Monte Carlo 预测模型,对流感疫情进行预测并将预测结果与实际值比较,探讨建模过程中的问题及应用 Monte Carlo 模型预测甲型 H1N1 流感的方法。

资料与方法

1. 数据资料:本研究以我国某直辖市(以下简称 A 市)2009 年 5 月~2010 年 2 月甲型 H1N1 流感疫情为研究背景,选取期间甲型 H1N1 流感发病人数、入院人数、死亡人数以及疫苗接种人数等统计数据为研究依据。

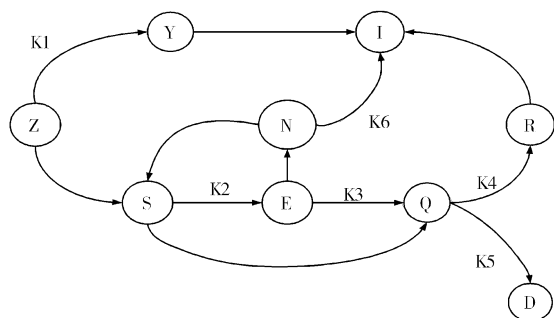
2. 研究方法:(1) Monte Carlo 方法: Monte Carlo 方法又被称为随机抽样法或统计试验法,是采用不同统计取样技术(如随机数字、伪随机数字等)来提供定量问题近似解决方案的随机模拟方法^[2]。其基本思想是:在计算机上模拟实现概率过程,然后加以统计处理。当所求解是某种随机事件出现的概率,或者是某个随机变量的期望值时,通过某种“实验”的方法,以这种事件出现的频率估计这一随机事件的概率,或者得到这个随机变量的某些数字特征,并将其作为问题的解。 Monte Carlo 方法在许多学科领域里都有着广泛的用途,应用范围包括:粒子输运问题、典型数学问题、统计物理、激光技术以及医学等方面^[3]。(2) 技术路线:本研究采用基于 Monte Carlo 思想的时间序列预测方法,模拟 A 市甲型 H1N1 流感传

基金项目:中国医学科学院医学信息研究所/图书馆基本科研业务费资助项目(09R0201)

作者单位:100020 北京,中国医学科学院医学信息研究所(孙晓北、杜然然);清华大学工程物理系(曾志、武桢、李明);同方威视技术股份有限公司(武桢)

播过程,综合考虑甲型 H1N1 流感病毒传播力、人群接触情况、发病入院、治愈、死亡、易感人群的免疫接种情况等相关因素,构建 A 市甲型 H1N1 流感 Monte Carlo 预测模型,利用已知时间段的甲型 H1N1 流感疫情统计数据,预测未知时间段的甲型 H1N1 流感疫情的发展趋势(主要为感染及确诊人数)。

3. 甲型 H1N1 流感传播流程分析:构建甲型 H1N1 流感传播流程图时,参考了已有的 SARS 传播动力学及预测模型,流程图描述出个体在甲型 H1N1 流感疫情中的转归情况(图 1)^[4,5]。根据统计资料计算及专家经验值设置相应参数及概率:①结合 A 市人口密度及实际环境,一个人平均每天能接触(乘坐公共交通工具)约 100 人;②易感人群与甲型 H1N1 流感病毒携带者接触后,有效感染率(若为密切接触)为 30% ~ 50%。有效感染率为 30% ~ 50% 是在密切接触的情况,由于多数情况下感染者与未感染者的接触多为短暂且不是那么密切,所以模拟中有效接触率为 1.4% 左右,这个数据是由程序拟和过程中调试得出;③在被甲型 H1N1 流感病毒感染后隐性感染比例为 30% 左右;④甲型 H1N1 流感患者(重症病例)治愈需要 14 天左右;⑤甲型 H1N1 流感死亡病例入院至死亡时间平均为 8 天;⑥感染甲型 H1N1 流感症状较轻者或者隐性感染者自愈时间平均 3 ~ 6 天。其中 3 天为 50%,4 天为 30%,5 天为 15%,6 天为 5%;⑦甲型 H1N1 流感病毒感染者具有传染性在出现症状前 1 天至发病后 7 天,或至病例症状消失后 24h(以两者之间较长者为准)。



Z: 总体人群;Y: 接种甲流疫苗者;S: 未患病但可被感染者(易感人群);N: 和感染者有效接触未出现临床症状者;E: 和感染者接触,可能感染者;Q: 确诊患者;R: 确诊患者治疗后恢复健康者;D: 治疗无效死亡人群;I: 免疫人群;K1: 疫苗接种率;K2: 接触率;K3: 感染确诊率;K4: 治疗康复率;K5: 病死率;K6: 隐性感染者概率

图 1 甲型 H1N1 流感传播流程图

4. 建模假设:①A 市人口总数基本保持不变;②易感人群接种甲型 H1N1 流感疫苗后,即形成免疫,退出总体易感人群;③甲型 H1N1 流感患者治愈后具有免疫能力不再发病,退出总体易感人群;④出现甲型 H1N1 流感相关症状,即被送往医院隔离治疗,不再具有社会传染性;⑤接种甲型 H1N1 流感疫苗后,因其他疾病死亡的忽略不计;⑥甲型 H1N1 流感传染只考虑人与人的传染模式;⑦气温变化幅度,对甲型 H1N1 流感病毒的致病力未产生影响。

5. Monte Carlo 预测模型基本流程: Monte Carlo 模型是建立在传播流程图基础上的概率模型,其基本思想就是建立一个随机过程,通过对模型或过程的观察或抽样试验来计算所求参数的统计特征,最后给出所求解的近似解。本研究将影响结果的各因素通过一定条件进行抽样,最后得出预测结果的近似值,通过大量模拟得到合理的结果。模型的主要流程如下:①确定需要模拟的次数,模拟次数越大,误差越小;②抽样感染源信息,包括感染源的输入区间及输入数量等;③抽样待模拟病例(感染者/感染源)的类型,是自愈还是发病;④抽样模拟过程,得到次级感染者,并继续模拟次级感染者直至结束;⑤多次模拟得到预测结果。

6. Monte Carlo 预测模型模拟流程图:预测模型模拟流程图(图 2),流程图表述如何利用程序实现甲型 H1N1 流感的预测模拟。该流程图是传播流程图和 Monte Carlo 模型的程序实现,详细表述了程序的实现过程。模型模拟流程:①准备:判断终止日与截止日,取得模拟区间。设置初始值,依据模拟次数开始模拟;②开始:抽取第 1 个流感病例的产生时间,取 7 天内随机(可以设置感染源人数,以及产生区间,默认 7 天),得到其感染日期,模拟开始;③循环开始:取第 N 天的 1 例感染者/感染源,得到感染日期;④判断感染者/感染源是否会得病。是则抽样其发病日期,将其计入确诊人数中。否则抽样其自愈日期;⑤如为确诊患者,判断该患者治疗情况(死亡/治愈);⑥得到传染日期,感染日期为发病日/自愈日减去感染日为传染日期;⑦得到每日接触人数、感染率、疫苗接种率以及相关衰减因子,计算每日新增感染者;⑧判断第 N 天感染库是否模拟完;⑨判断模拟次数是否足够;⑩得到模拟结果。

7. 算法流程:算法流程是模拟流程中实现算法的流程部分,主要包括两部分,一为单个人的模拟流程,详述了一例感染源从开始被感染到结束所有的过程,包括自身的患病情况和传染过程。另一部分为模拟过程中一天的情况,主要计算模拟每天的感染人数确诊人数等相关情况。

结 果

1. 预测程序:通过预测模型编写的甲型 H1N1 流感预测程序“H1N1Predict”,该预测程序主要输入参数为模拟次数、模拟日期(起始日和终止日)、感染源数量、单日疫苗接种率、单日接触人数、感染概率、隐性感染率、治愈率、病死率等;输出结果包括感染者人数每日分布、确诊人数每日分布、自愈人数每日分布、治愈人数每日分布和死亡人数每日分布。

2. Monte Carlo 模型预测结果:模拟数据起始时间为 2009 年 5 月 10 日,预测区间为起始日起 300 天。结果显示,A 市甲型 H1N1 流感日感染人数、确诊人数、死亡人数于疫情出现后 125 ~ 130 天左右达到峰值,也就是说模型预测甲型 H1N1 流感疫情在 9 ~ 10 月最为严重。日感染人数、确诊人数峰值分别为 214 人、150 人。

3. 模拟预测结果与实际疫情统计数据的比较:见

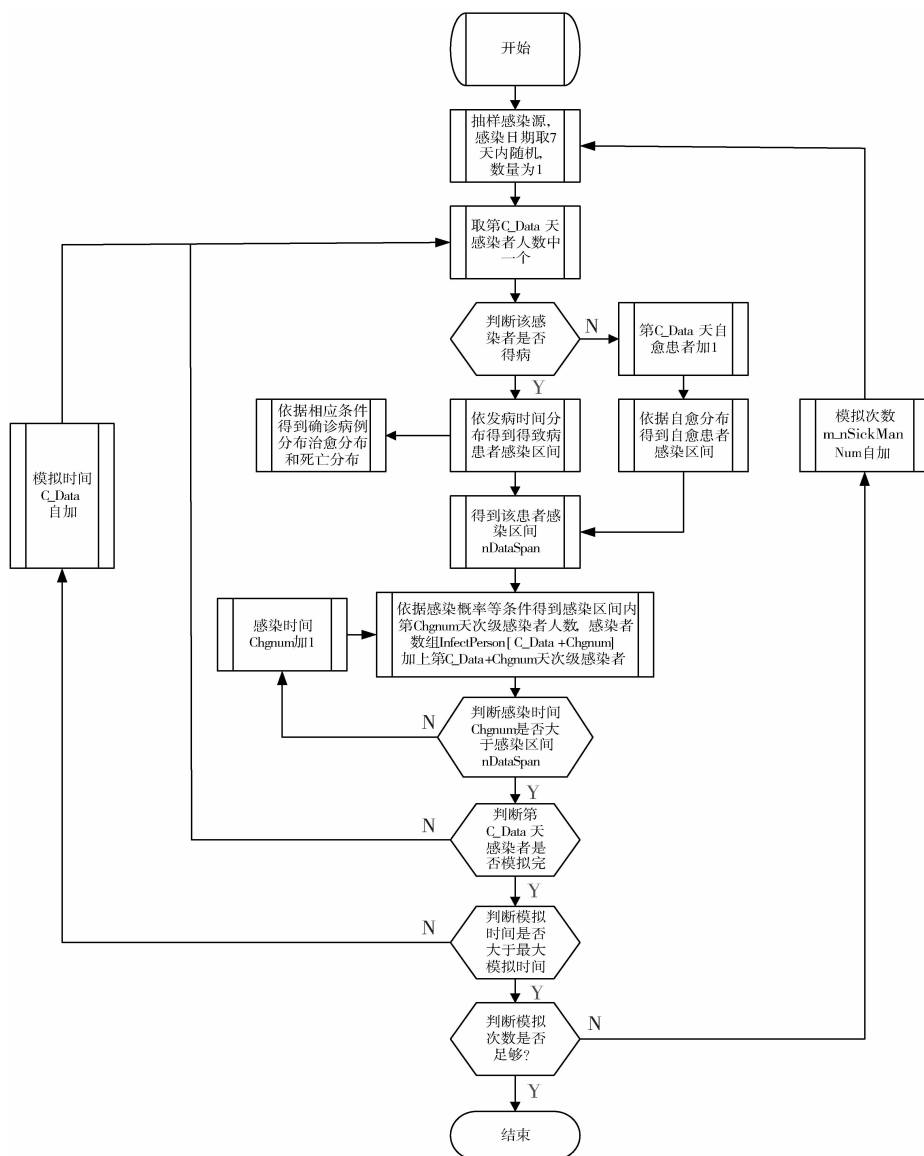


图2 预测模型模拟流程图

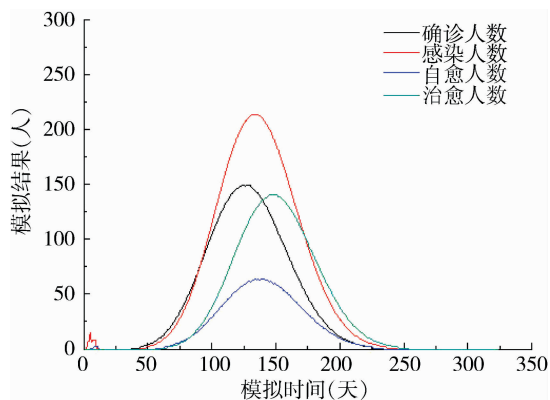


图3 Monte Carlo 模型预测结果

预测模型的模拟预测值相比较,数据吻合情况良好。实际统计数据每日确诊人数变动较大,但总体趋势与预测相同,取周平均值后与预测值十分接近。

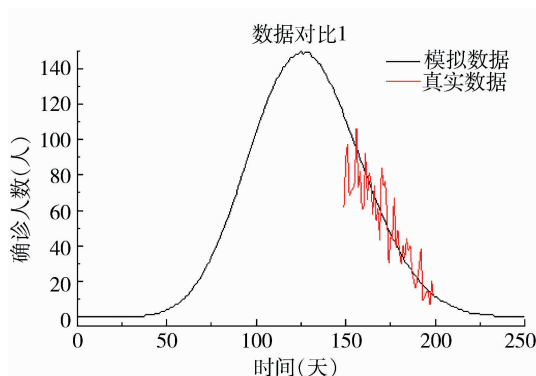


图4 模拟预测结果与实际数据的比较

图4。用于比较参考的实际数据为A市2009年10~12月甲型H1N1流感每日确诊人数,与Monte Carlo

(下转第143页)