

## 第五届“认证杯”数学中国

### 数学建模网络挑战赛

#### 承 诺 书

我们仔细阅读了第五届“认证杯”数学中国数学建模网络挑战赛的竞赛规则。

我们完全明白，在竞赛开始后参赛队员不能以任何方式（包括电话、电子邮件、网上咨询等）与队外的任何人（包括指导教师）研究、讨论与赛题有关的问题。

我们知道，抄袭别人的成果是违反竞赛规则的，如果引用别人的成果或其他公开的资料（包括网上查到的资料），必须按照规定的参考文献的表述方式在正文引用处和参考文献中明确列出。

我们郑重承诺，严格遵守竞赛规则，以保证竞赛的公正、公平性。如有违反竞赛规则的行为，我们将受到严肃处理。

我们允许数学中国网站([www.madio.net](http://www.madio.net))公布论文，以供网友之间学习交流，数学中国网站以非商业目的的论文交流不需要提前取得我们的同意。

我们的参赛队号为：

参赛队员（签名）：

队员 1：

队员 2：

队员 3：

参赛队教练员（签名）：

参赛队伍组别：

## 第五届“认证杯”数学中国

### 数学建模网络挑战赛

### 编号专用页

参赛队伍的参赛队号：（请各个参赛队提前填写好）：

竞赛统一编号（由竞赛组委会送至评委团前编号）：

---

竞赛评阅编号（由竞赛评委团评阅前进行编号）：

# 2012 年第五届“认证杯”数学中国 数学建模网络挑战赛

题 目 : 碎片化趋势下的奥运会商业模式

关 键 词 社交网络, 信息传播, 微分方程, 传染病模型, 龙格-库塔法

## 摘 要:

本文以各大社交网站的用户关系数据为基础, 并着重研究了在Twitter 社交网站用户之间的链接关系(follow 关系)数据, 通过合理估计, 数据整理, 概率平均等方法得到所需各个参数。

我们构造了一个基于在线社交网络的信息传播模型。该模型考虑了节点和传播机理的影响, 结合复杂网络和传染病动力学理论, 进一步建立了动力学演化方程组。该方程组刻画了不同类型节点随着时间的演化关系, 反映了传播动力学过程受到网络拓扑结构和传播机理的影响。本文模拟了在线社交网络中的信息传播过程, 并分析了不同类型节点在网络中的行为规律。仿真结果表明: 由于在线社交网络的高度连通性, 信息在网络中传播的门槛几乎为零; 初始传播节点的度越大, 信息越容易在网络中迅速传播; 中心节点具有较大的社会影响力; 具有不同度数的节点在网络中的变化趋势大体相同。研究表明该模型符合在线社交网络的特性, 有助于更深刻地理解发生在在线社交网络中的传播行为。

参赛队号 1 3 1 3

参赛密码 \_\_\_\_\_  
(由组委会填写)

所选题目 C 题

## 英文摘要（选填）

## 一. 问题重述

有一个例子：2012年1月26日，一个名为Jamie Beck的Tumblr博主发布了一张“海怪号（Mar Mostro）”帆船在沃尔沃环球帆船赛上乘风破浪的照片，随后他收到了2.5万条互动信息，其中60%是转发这张照片。Jamie Beck是这艘船的赞助商Puma聘请的推广作者，Puma预计，鉴于Beck有200万粉丝，这张照片最终可能获得600万至700万品牌印象度（Impressions，衡量到达率的指标之一），而Instagram上会达到4000万。在整个沃尔沃帆船赛中，Puma一共派了10位这样的作者去比赛地点阿布扎比，他们在Twitter，Instagram和Tumblr上更有针对性地发布与Puma，“海怪号”相关的内容。尽管Puma还没有发布它们的奥运广告计划，但Puma数字营销负责人Remi Carlioz有类似的计划：“我们不是奥运的官方合作伙伴，但我们会想别的办法和我们的受众一起参与到这个话题里来。”

一家企业想利用社交网络在奥运会期间进行企业宣传，假设现在距离奥运会开幕还有100天，一个社交网络的专业推广者平均每天可以新增500个粉丝，这些粉丝会把推广者发布的和奥运会相关的所有信息都分享给自己的粉丝们，普通网络用户平均每天可以新增20个粉丝。

问题一：请建立数学模型，预测奥运会开始后，一条含有企业广告的奥运会新闻可以被多少人观看到？

问题二：假设企业产品的潜在用户大约有2亿人，他们都在使用社交网络，企业希望广告宣传覆盖其中40%的人群，至少需要雇佣几名专业社交网络推广者才能实现？假设专业推广者每天的工资是500元。还可以从网络上雇佣兼职宣传者，每天仅需要付50元的工资，但是他们平均每天新增的粉丝数仅为35人，考虑到成本，请给企业制定一份合理的用人方案。

## 二. 问题背景

从1984年的美国洛杉矶奥运会开始，奥运会攫取着巨大的商业价值，它与电视结盟，在受关注的时刻发布赞助商广告，它在每个行业中仅挑选一家奥运全球合作伙伴，这就是“Top赞助商”的前身。

这个模式经过28年的发展之后，现在已经是商业社会里最重要的公司的展示舞台。品牌选择奥运会的理由，是因为这里凝聚了观众的大量时间。他们希望在观众关注比赛的同时也注意到自己的品牌和产品，而Top赞助商们，则可以获得在电视奥运频道里排除行业里其他竞争对手广告的特权。每届奥运会，Top赞助商费用不断上涨，宣传费用的门槛把绝大多数企业排除在了奥运会之外。但是越来越多的企业不甘心错过奥运会这个吸引大众眼球的宣传机会，他们在寻找新的新闻传播渠道。

现在是一个机会，电视正在受到冲击，法国科技公司源讯（Atos Origin）2011年10月便公布了一份《奥运会十大科技事实》清单，其中提到2012年伦敦奥运会期间，将有85亿台等移动设备联网。他们可以自己决定看什么，定制内容，并可以通过社交网络和志同道合者相互吐槽。一切都在数字化，数字化不仅仅打碎了时间，它让传播渠道、受众的注意力、品牌营销方式甚至一切都碎化了，观众不在只关注电视，他们利用社交网络可以获得更加丰富的赛信息和网友的评论。这也为更多的企业提供了在奥运期间宣传自己的机会。

### 三. 问题分析

现在奥运会是商业社会里最重要的公司的展示舞台，由于宣传费用门槛过高，新的新闻传播渠道——社交网络出现。

问题一属于信息传播的问题，根据题中给的例子和数据提出合理假设，建立微分方程模型得出结论。

问题二是在保证覆盖人数在8千万人以上的情况下，求得雇佣专业社交网络推广者的最少人数，以及考虑到成本后，拟定合理用人方案的优化问题。

### 四. 符号说明

符号	意义	单位
$P_1$	如果一个传播节点与一个未感染节点接触，则未感染节点会以概率 $P_1$ 成为传播节点	
$P_2$	如果一个传播节点与一个免疫节点接触，则传播节点会以概率 $P_2$ 成为免疫节点.	
$v$	传播节点停止传播而变为免疫节点的速度	
$j$	节点	
$t$	当前时刻（第 $t$ 天）	天
$\Delta t$	时间改变量	天
$p_{ii}^j$	表示节点 $j$ 在 $[t, t + \Delta t]$ 时段内处于未感染状态的概率	
$p_{is}^j$	表示节点 $j$ 从未感染状态转移到传播状态的概率	
$g$	表示在 $t$ 时刻节点 $j$ 的邻居中传播节点的数量	
$k$	节点 $j$ 的度	
$w(k,t)$	表示在 $t$ 时刻从具有 $k$ 条边的未感染节点连接到一个传播节点的概率	
$p(k' k)$	表示度为 $k$ 的节点与度为 $k'$ 的节点邻接的条件概率	
$p(s_{k'} i_k)$	表示一个拥有 $k'$ 条边的节点在它连接到一个度为 $k$ 的未感染节点的条件，处于传播状态的概率	
$\rho^s(k',t)$	表示在 $t$ 时刻度为 $k'$ 的传播节点的密度.	
$\overline{p_{ii}^j}(k,t)$	度为 $k$ 的节点在 $[t, t + \Delta t]$ 时段内处于未感染状态的平均转移概率	
$p_{sr}^j$	表示节点 $j$ 在 $[t, t + \Delta t]$ 时段内从传播状态转移到免疫状态的概率	
$p_{ss}^j$	表示节点 $j$ 保持传播状态的概率	

$\bar{p}_{ss}(k,t)$	度为k 的节点在 $[t, t + \Delta t]$ 时段内处于感染状态的平均转移概率	
$N(k,t)$	在t 时刻网络中度为k 的节点总数量	
$I(k,t)$	在t时刻网络中度为k 的未感染节点的数量	
$S(k,t)$	在t时刻网络中度为k 的传播节点的数量	
$R(k,t)$	在t 时刻网络中度为k 的免疫节点的数量	
$p^i(k',t)$	表示在t 时刻度为k' 的未感染节点的密度.	
$p^r(k',t)$	表示在t 时刻度为k' 的免疫节点的密度.	
$p^s(k',t)$	表示在t 时刻度为k' 的传播节点的密度.	
$p(k')$	度的分布函数（度为k'在网络中的概率）	
$\bar{k}$	网络节点平均度.	
$A_i$	第i个推广者（ $i=1, 2, 3, \dots$ ）	
$a$	推广者节点平均每天新增的度个数	
$b$	除推广者节点以外其他普通节点平均每天新增的度个数	
$c$	兼职宣传者节点平均每天新增的度个数	
$k_{Ai}(t)$	t时刻推广者节点的度	
$k_{Ai}^-(t)$	t时刻除推广者节点以外其他节点的度	
$k_{\max}$	网络中节点的最大度	
$m$	除推广者节点外的其他节点P1的值	
$N(t)$	t时刻，网络中节点的数目	
$z$	企业雇佣推广者与兼职宣传者在社交网络宣传所需成本	元
$N_{Ai}$	企业雇佣推广者数目	
$N_{Bi}$	企业雇佣兼职宣传者数目	

## 五. 简单假设

1. 现在距离奥运会开幕还有100天，一个社交网络的专业推广者平均每天可以新增500个粉丝，这些粉丝会把推广者发布的和奥运会相关的所有信息都分享给自己的粉丝们，普通网络用户平均每天可以新增20个粉丝。
2. 企业产品的潜在用户大约有2亿人，他们都在使用社交网络，企业希望广告宣传覆盖其中40%的人群。
3. 新闻传播途径除社交网络以外无其他途径。
4. 推广过程在同一社交网络实现。
5. 在推广过程中无意外发生。
6. 推广者以及兼职宣传者本身数目无限。
7. 所有数据来源于题目已知，真实可靠。

## 六. 建立的模型

在SNS 网络中，一个人发布的消息会被其好友看到，并以一定的概率分享、传播。同时，若其好友对其内容不感兴趣则成为“免疫者”且不会传播。本文把SNS 网络上的用户定义为节点，个体之间的好友关系则可以抽象地用节点之间的边来表示，信息只沿着边传播。

根据信息在SNS 网络中的传播规律，我们把网络中的节点分为三类：传播节点、未感染节点、免疫节点。传播节点表示该节点接受了来自其邻居节点的信息，并具有传播该信息的能力。未感染节点表示该节点没有接受过来自其邻居节点的信息，并有机会接受信息，即有概率被感染。免疫节点表示该节点已经接受了其邻居节点的信息，但是不具有传播能力。节点在传播状态、未感染状态和免疫状态之间的转移不仅依赖于节点自身的状态，还与它的邻居节点的状态相关，定义以下传播规则：

- 1) 如果一个传播节点与一个未感染节点接触，则未感染节点会以概率 $P_1$ 成为传播节点。
- 2) 如果一个传播节点与一个免疫节点接触，则传播节点会以概率 $P_2$ 成为免疫节点。
- 3) 传播节点不会无休止地传播下去，会以一定的速度 $v$  停止传播而变为免疫节点，且无需与其他节点接触。

### I. 问题一模型的建立

假设一个节点 $j$ 在 $t$ 时刻处于未感染状态，则有：

$$p_{ii}^j = (1 - \Delta t p_1)^g \quad (1)$$

式中， $g = g(t)$  表示在 $t$ 时刻节点 $j$ 的邻居中传播节点的数量。假设节点 $j$ 含有 $k$ 条边， $g$ 是具有二项分布的随机变量：

$$\prod(g, t) = \binom{k}{g} w(k, t)^g (1 - w(k, t))^{k-g}, \quad (2)$$

式中， $w(k, t)$  表示在 $t$ 时刻从具有 $k$ 条边的未感染节点连接到一个传播节点的概率。

$w(k, t)$  可写为如下形式：

$$w(k, t) = \sum_{k'} p(k' | k) p(s_{k'} | i_k) \approx \sum_{k'} p(k' | k) \rho^s(k' | t), \quad (3)$$



度为k 的节点在 $[t, t + \Delta t]$ 时段内处于未感染状态的平均转移概率 $\overline{p}_{ii}(k, t)$  如下:

$$\overline{p}_{ii}(k, t) = \sum_{g=0}^k \binom{k}{g} (1 - p_1 \Delta t)^g w(k, t)^g \times (1 - w(k, t))^{k-g} = (1 - p_1 \Delta t w(k, t))^k$$

将(3) 式代入上式得到 $\overline{p}_{ii}(k, t) = (1 - p_1 \Delta t \sum_{k'} p(k' | k) \rho^s(k', t))^k$  , (4)

同理, 假设 $p_{sr}^j$ 表示节点j在 $[t, t + \Delta t]$ 时段内从传播状态转移到免疫状态的概率,  $p_{ss}^j$ 表示节点j保持传播状态的概率且 $p_{ss}^j = (1 - \Delta t p_2)^g (1 - v \Delta t)$ . 于是, 得到度为k的节点在

$[t, t + \Delta t]$ 时段内处于感染状态的平均转移概率 $\overline{p}_{ss}(k, t)$  如下:

$$\overline{p}_{ss}(k, t) = (1 - \Delta t p_2 \sum_{k'} p(k' | k) \rho^r(k', t))^k \times (1 - v \Delta t) . \quad (5)$$

则节点从传播状态转移到免疫状态的转移概率为 $\overline{p}_{sr}(k, t) = 1 - \overline{p}_{ss}(k, t)$  .

由于 $N(k, t)$ 为在t时刻网络中度为k的节点总数量,  $I(k, t)$  ,  $S(k, t)$  ,  $R(k, t)$  分别为在t时刻网络中度为k的未感染节点、传播节点和免疫节点的数量, 则

$$I(k, t) + S(k, t) + R(k, t) = N(k, t) , \quad (6)$$

于是, 网络中度为k的未感染节点的数量在 $[t, t + \Delta t]$ 时段内的变化情况如下:

$$I(k, t + \Delta t) = I(k, t) - I(k, t) (1 - \overline{p}_{ii}(k, t)) = I(k, t) - I(k, t) \times [1 - (1 - p_1 \Delta t \sum_{k'} \rho^s(k', t) p(k' | k)^k)] \quad (7)$$

同理, 可相应得到度为k的传播节点和免疫节点的数量在 $[t, t + \Delta t]$ 时段内的变化情况, 如下

$$S(k, t + \Delta t) = S(k, t) + I(k, t) (1 - \overline{p}_{ii}(k, t)) - S(k, t) (1 - \overline{p}_{ss}(k, t)) = S(k, t) + I(k, t) \times [1 - (1 - p_1 \Delta t \sum_{k'} \rho^s(k', t) p(k' | k)^k)] - S(k, t) \times [1 - (1 - p_2 \Delta t \sum_{k'} \rho^r(k', t) p(k' | k)^k (1 - v \Delta t))] \quad (8)$$

$$R(k, t + \Delta t) = R(k, t) + S(k, t) (1 - \overline{p}_{ss}(k, t)) = S(k, t) \times [1 - (1 - p_2 \Delta t \sum_{k'} \rho^r(k', t) p(k' | k)^k (1 - v \Delta t))] + R(k, t) , \quad (9)$$

由(6) , (7) 式可以得到

$$\frac{I(k, t + \Delta t) - I(k, t)}{N(k, t) \Delta t} = - \frac{I(k, t)}{N(k, t) \Delta t} [1 - (\Delta t p_1 \sum_{k'} p(k' | k) \rho^s(k', t))^k] \quad (10)$$

假设刚开始仅存在一个推广者节点作为传播节点, 其余节点全部为未感染节点。假设网

络中除推广者节点外均视为普通节点；

假设先将推广者节点包含在普通节点中，由于网络中节点数目很庞大，单个推广者节点对整体  $\bar{k}$  和  $p(k)$  的影响可忽略。

$$k_{Ai} = k_{Ai} + 500\Delta t; \quad (11)$$

$$k_{\bar{Ai}} = k_{\bar{Ai}} + 20\Delta t; \quad (12)$$

当  $\Delta t \rightarrow 0$  时，对(10) 式右侧进行泰勒展开得到

$$b \frac{\partial \rho^i(k, t)}{\partial t} = -kp_1 \rho^i(k, t) \sum_{k'} \rho^s(k', t) p(k'|k) \quad (13)$$

同理，由(8) 式可以得到

$$b \frac{\partial \rho^s(k, t)}{\partial t} = -kp_1 \rho^i(k, t) \sum_{k'} \rho^s(k', t) p(k'|k) - kp_2 \rho^s(k, t) \sum_{k'} \rho^r(k', t) p(k'|k) - v \rho^s(k, t) \quad (12)$$

由(9) 式得到

$$b \frac{\partial \rho^r(k, t)}{\partial t} = kp_2 \rho^s(k, t) \sum_{k'} \rho^r(k', t) p(k'|k) + v \rho^s(k, t). \quad (14)$$

由于推广至节点与普通节点的度的增长率不同，将推广者节点的微分方程单独列出，如下：

$$p_1 = 1;$$

$$a \frac{\partial \rho^i(k, t)}{\partial t} = -kp_1 \rho^i(k, t) \sum_{k'} \rho^s(k', t) p(k'|k) \quad (15)$$

$$a \frac{\partial \rho^s(k, t)}{\partial t} = -kp_1 \rho^i(k, t) \sum_{k'} \rho^s(k', t) p(k'|k) - kp_2 \rho^s(k, t) \sum_{k'} \rho^r(k', t) p(k'|k) - v \rho^s(k, t) \quad (16)$$

$$a \frac{\partial \rho^r(k, t)}{\partial t} = kp_2 \rho^s(k, t) \sum_{k'} \rho^r(k', t) p(k'|k) + v \rho^s(k, t). \quad (17)$$

由(11) ， (12) ， (13) 与(14) ， (15) ， (16)式联立得到信息传播的动力学演化方程组，用于刻画传播节点、未感染节点和免疫节点的密度随着时间的变化关系，传播动力学过程同时受到网络拓扑结构和传播机理的影响。

根据文献1可得网络中节点的度相关性被用来描述不同网络结构之间的差异。节点的度相关性，也称为网络选型连接性，指的是网络中与高度数（或低度数）节点相连接的节点的度数偏向于高还是低。若连接度大的节点趋向于和其他连接度大的节点连接，则认网络呈现协调混合；若连接度大的节点趋向于和其他连接度小的节点连接，则认为网络非呈现协调混合。实际的网络的选型连接性有一些呈现协调合一些呈现非协调混合。如社会网络（电影演员合作网络、科学家合作网络）中节点具有正的度的相关性，其他类型的网络（信息网络、技术网络、生物网络）则相反。根据文献，SNS 网络的度

相关性一般小于零。 所以，本文( 3 ) 式中的度相关函数可以写为

$$p(k'|k) = \frac{k' p(k')}{\bar{k}}, \quad (18)$$

$$N(t) = \sum_{k_i} (\rho^s(k_i, t) + \rho^r(k_i, t)) N(k_i, t) \quad (19)$$

根据Matlab算法解出  $N(t)$  ( $t = 100$ )

## II问题二模型的建立:

<一>

假设初始时刻网络中仅企业雇佣的推广者节点为传播节点，其余节点均为未感染节点；

假设所有推广者节点初始时刻的度为相同值（即拥有相同数量的粉丝）；

假设企业雇佣的推广者数目有限，且不足以影响整个网络中的  $\bar{k}$  和  $p(k)$ 。

在问题二中， $N(t)$  已知 (20)

假设至少需要推广者  $n$  名；

将问题一中的模型的 (14), (15), (16) 改为:

$$na \frac{\partial \rho^i(k, t)}{\partial t} = -kp_1 \rho^i(k, t) \sum_{k'} \rho^s(k', t) p(k'|k) \quad (21)$$

$$na \frac{\partial \rho^s(k, t)}{\partial t} = -kp_1 \rho^i(k, t) \sum_{k'} \rho^s(k', t) p(k'|k) - kp_2 \rho^s(k, t) \sum_{k'} \rho^r(k', t) p(k'|k) - v \rho^s(k, t) \quad (22)$$

$$na \frac{\partial \rho^r(k, t)}{\partial t} = kp_2 \rho^s(k, t) \sum_{k'} \rho^r(k', t) p(k'|k) + v \rho^s(k, t) \quad (23)$$

其余方程与问题一中建立的模型相同；

根据Matlab算法解出  $n$ ；

<二>

假设初始时刻网络中仅企业雇佣的推广者节点与兼职宣传者节点为传播节点，其余节点均为未感染节点；

假设所有推广者节点初始时刻的度为相同值（即拥有相同数量的粉丝）；

假设所有兼职宣传者节点初始时刻的度为相同值（即拥有相同数量的粉丝）；

假设企业雇佣的推广者数目与兼职宣传者节点有限，且不足以影响整个网络中的  $\bar{k}$  和

$p(k)$ 。

问题二中的模型为优化问题；

即求  $\min z$ ；

$$z = 500N_{Ai} + 50N_{Bi} \quad (24)$$

假设企业要宣传覆盖人群数目固定；  
将问题一中的模型的（14），（15），（16）改为：

$$N_{Ai}a \frac{\partial \rho^i(k,t)}{\partial t} = -kp_1 \rho^i(k,t) \sum_{k'} \rho^s(k',t) p(k'|k) \quad (25)$$

$$N_{Ai}a \frac{\partial \rho^s(k,t)}{\partial t} = -kp_1 \rho^i(k,t) \sum_{k'} \rho^s(k',t) p(k'|k) - kp_2 \rho^s(k,t) \sum_{k'} \rho^r(k',t) p(k'|k) - v \rho^s(k,t) \quad (26)$$

$$N_{Ai}a \frac{\partial \rho^r(k,t)}{\partial t} = kp_2 \rho^s(k,t) \sum_{k'} \rho^r(k',t) p(k'|k) + v \rho^s(k,t) \quad (27)$$

$$N_{Bi}a \frac{\partial \rho^i(k,t)}{\partial t} = -kp_1 \rho^i(k,t) \sum_{k'} \rho^s(k',t) p(k'|k) \quad (28)$$

$$N_{Bi}a \frac{\partial \rho^s(k,t)}{\partial t} = -kp_1 \rho^i(k,t) \sum_{k'} \rho^s(k',t) p(k'|k) - kp_2 \rho^s(k,t) \sum_{k'} \rho^r(k',t) p(k'|k) - v \rho^s(k,t) \quad (29)$$

$$N_{Bi}a \frac{\partial \rho^r(k,t)}{\partial t} = kp_2 \rho^s(k,t) \sum_{k'} \rho^r(k',t) p(k'|k) + v \rho^s(k,t) \quad (30)$$

约束条件：

$$N_{Ai}, N_{Bi} \geq 0;$$

其余方程与问题一中建立的模型相同；

根据Matlab算法解出  $N_{Ai}, N_{Bi}$ ；

## 七. 模型的求解

**问题一模型求解：**

$a=500, b=20$ ；由Twitter 社交网站用户之间的链接关系（follow 关系）数据可得其次设置模型如下： $P1=0.3, P2=0.1, v=0.05$ ；迭代次数 $T=1000$ ；

$$\therefore N(t) = \sum_{k_i} (\rho^s(k_i, t) + \rho^r(k_i, t)) N(k_i, t)$$

由matlab求解得出  $N(100) = 6.34 \times 10^6$  人（matlab程序见附录1）；

即奥运会开始后，一条含有企业广告的奥运会新闻可以被6340000人观看到

**问题二模型求解：**

〈一〉

已知  $N(t)=2\text{亿} \times 40\%$ , ( $t=100$ ) 以及问题一中的全部数据；

将初始值带入模型微分方程中，用matlab求解（matlab程序见附录）

$$n=13$$

即企业为达到传播效果，至少需要13名专业推广者

〈二〉

$$\because z = 500N_{Ai} + 50N_{Bi}$$

根据Matlab算法解出  $N_{Ai}$ ， $N_{Bi}$  (mathlab 程序见附录)

即企业要聘请8个专业推广者和20个兼职宣传者可以达到宣传效果且成本最低

## 八. 模型改进及推广

在六. 模型建立中所有普通节点都默认为一致的, 而实际上节点和节点之间的关系可划分为强关系和弱关系, 其中两个节点之间的关系强度是通过一个人从好友那里获得的评论数来衡量的。若想提高模型精确度, 节点关系的强弱要考虑进去。本模型还可以推广到谣言传播模型中去。

## 九. 模型优缺点分析

**优点:**

1. 本模型适用于大型且关系复杂的社交网络 (用户数目在 $10^6$ 级以上)。
2. 本模型考虑到免疫节点的存在, 信息不能无限传播下去, 会以一定速度衰减成免疫节点。
3. 本模型考虑到节点度的增长, 更切合实际情况。
4. 本模型是鉴于网状复杂关系建立的, 相比一般传播模型更符合实际。

**缺点:**

本模型只适用于大型社交网络 (用户数目在 $10^6$ 级以上), 对于用户较少的社交网络适用性不强。

**参考文献:**

- [1]. 张彦超 刘云 张海峰 程辉 熊菲《基于在线社交网络的信息传播模型》( 北京交通大学通信与信息系统北京市重点实验室, 北京100044) (2010 年7 月23 日收到;2010 年9 月8 日收到修改稿)
- [2]. 新浪科技微博 Facebook 研究报告全文: 重视社交网络“弱关系”  
<http://www.sina.com.cn> 2012 年 04 月 14 日 13:28 新浪科技微博

## 附录1

```

function dy = C(t,y) %微分方程函数C的定义
p1 = 0.3;
p2 = 0.1;
v = 0.05;
m = 1000;
a = 500;
b = 20;
dy = zeros(3*m-1);

i = 1; c = 1; q = 0.4;
Q = ones(1,m);
while i < m,
    c1 = 1; i1 = 1;
    while i1 <= i,
        c1 = c1*i1;
        i1 = i1+1;
    end
    c2 = 1; i2 = 1;
    while i2 <= m-i,
        c2 = c2*i2;
        i2 = i2+1;
    end
    c3 = 1; i3 = 1;
    while i3 <= m,
        c3 = c3*i3;
        i3 = i3+1;
    end
    c = c3/c2/c1;
    Q(1,i) = c * q^i * (1-q)^(m-i);
    i = i+1;
end

j1 = 1;
while j1 <= m,
    y(3*m+1) = y(3*m+1) + y(3*j1-1) * Q(1,j1);
    j1 = j1+1;
end

j2 = 1;
while j2 <= m,
    y(3*m+2) = y(3*m+2) + y(3*j2) * Q(1,j2);
    j2 = j2+1;
end

```

```

end

j = 0;
while j < m,
    k = j+1;
    b * dy(3*j+1) = -1 * k * p1 * y(3*j+1) * y(3*m+1);
    b * dy(3*j+2) = k * p1 * y(3*j+1) * y(3*m+1) - k * p2 * y(3*j+2) * y(3*m+2)
- v * y(3*j+2);
    b * dy(3*j+3) = k * p2 * y(3*j+2) * y(3*m+1) + v * y(3*j+2);
    a * dy(3*j+1) = -1 * k * y(3*j+1) * y(3*m+1);
    a * dy(3*j+2) = k * y(3*j+1) * y(3*m+1) - k * p2 * y(3*j+2) * y(3*m+2) -
v * y(3*j+2);
end

sum(y)=1;

y = 0:0.0001:1;
tspan = [0, 1];
x0 = zeros(3*m, 1);
[T Y] = ode45( @C, [0 1], zeros(3*m, 1) ) %求解微分方程C的数值解

%求解:由一个推广者开始传播,在t=100天时,网络中传播节点的个数N
n = 0;
t = 100;
kA = 200000;
while n < m,
    N = ( y(3*n+2) + y(3*n+3) )*( y(3*n+1) + y(3*n+2) + y(3*n+3) );
    n = n+1;
end
fprintf(N);

```