

人类行为双向选择现象研究

周 斌^{1,2} 汪秉宏¹

(1 中国科学技术大学近代物理系 230026; 2 江苏科技大学经济管理学院 212003)

一、研究背景

由几十亿人组成的庞大社会系统是非常复杂的,我们越来越深刻认识到认知人类社会自身规律的重要性。随着计算机网络技术的不断发展,我们已经有能力记录和统计关于人类社会行为的海量数据。挖掘这些大数据,对其特征进行统计分析,探索可能存在的动力学机制和内在机理,建立各种模型,我们可以更加深入理解和认知各种相关的人类社会行为。国内外众多科学工作者在这方面已经做了大量的研究工作,这些工作主要体现在人类社会行为时间统计特性和空间统计特性。其中很多新发现颠覆了人们的传统认知,从而引发了探索人类社会各种行为规律的研究热潮,并建立了很多动力学模型来理解和解释人类社会行为各种现象、揭示隐藏于背后的内在机制。当前对于人类社会行为复杂性的研究非常活跃,若干研究和发现具有重要的理论意义和应用价值,可能对人类的生活和发展产生重大影响。

人类双向选择行为在社会中普遍存在。例如每年大学毕业生的就业和公开招聘,人类日常生活中男女

之间的情感和婚姻匹配,以及商业活动中的买方和卖方之间的需求互换等,见图1。这些现象大都可以归纳为双向选择问题。目前,我们对人类双向选择行为有何规律所知甚少。基于对双向选择系统大数据的统计特征分析,我们对现实中的各种双向选择现象进行了建模。

二、国内外研究现状

迄今为止,关于人类社会行为的研究工作主要集中在时间和空间方面的统计特征分析。推荐系统可以看作双向选择中的一种特殊形式。芮斯尼克(Resnick)、周涛和吕林媛等对推荐系统进行了深入研究。

对于男女婚姻的双向选择现象,迈克尔·达泽尔查(Michael Dzierza)、奥梅罗(Omero MJ)、卡耳达瑞里(Caldarelli G)和张翼成等做了一些相关的研究工作,对现实中男女之间稳定婚姻匹配的内在机制进行了研究和探索,提出了权重性优先排序互选模型机制的方法。方法的优点是比较直观,容易理解,符合日常人们的直观认识,对于理解男女之间在婚姻方面的双向选择行为有一定意义,但是缺乏一种更加深刻



图1 大学生就业招聘大会和男女择偶相亲大会

的内在机制来解释人类双向选择行为。因此，有必要从全新的视角探索双向选择行为的内在机理，建立合理的双向选择模型。

三、基于全联通网络的人类双向选择系统

我们在 2014 年初发表的文章 [Bin Zhou, Shujia Qin, Xiao-Pu Han, Zhe He, Jia-Rong Xie, and Bing-Hong Wang. A model of two-way selection system for human behavior. PLoS ONE 9, No. 1(2014): e81424.] 中提出了一种双向选择机制来解释人类社会中的双向选择行为 (图 2)。

现实中的男女择偶选择就是一种典型的双向选择行为。仅当男女双方都愿意选择对方 (机制中的两个条件都满足)，婚配才能够成功。如果只有一方愿意 (只满足机制中的一个条件)，或者双方都不愿意 (机制中的两个条件都不能满足)，则婚配不成立。我们从网络上搜集了现实中不同时间、不同地点 82 组相亲大会的数据，对模型进行了验证和评估，发现我们所提出的双向选择模型能够在一定程度上预测相亲大会的男女配对成功率。

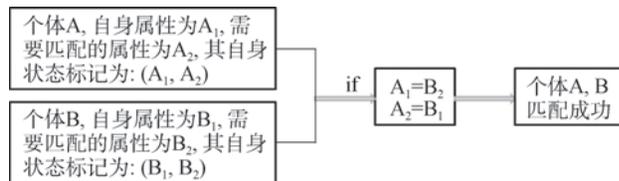


图 2 双向选择机制，A、B 为双向选择系统的两个个体，其属性 A_1 、 A_2 、 B_1 、 B_2 分别为 n 种属性中的一种

A: 人类社会双向选择系统的模型研究。

基于全联通网络的双向选择行为模型规则如下：

1. 有两个集合 A 和 B，分别有 k_1 和 k_2 个个体。
2. 集合 A 和集合 B 中的每一个个体都有两个参量来描述他们的状态，例如 (A_1, A_2) 、 (B_1, B_2) ，其中一个参量表示它自身的属性： A_1 、 B_1 ，另一个参量表示它需要匹配的属性： A_2 、 B_2 。
3. 集合 A 和集合 B 中每一个个体的两个属性都分别独立随机从 n 种类型中选取。

集合 A、B 中的两个个体状态如果满足： $A_1=B_2$ 且 $A_2=B_1$ ，则此两个个体匹配成功，此系统可称为 $(k_1,$

$k_2, n)$ 双向选择系统。

模型中的个体属性是对于个体之间实际复杂双向选择行为多种因素的抽象表示。在古代，货币还没有出现以前，最原始的商业贸易是通过物物交换来实现的。假设古代一个集市，一共有 k_1 个买家和 k_2 个卖家在进行交易，参与交换的物品一共有 n 种，如果对于一个卖家 A 和一个买家 B 来说，他们自己分别有一种物品为牛和羊 (即是模型中所说的代表自身的属性 A_1 和 B_1 : A_1 =牛, B_1 =羊)，他们想要用自己的物品交换别的买家或卖家的物品为羊和牛 (即是模型中所说的代表他们想要匹配的属性 A_2 和 B_2 : A_2 =羊, B_2 =牛)，那么卖家 A 和买家 B 就满足成功交换的条件： $A_1=B_2$ 且 $A_2=B_1$ ，通俗的讲即是卖家 A 有买家 B 想要的物品，买家 B 有卖家 A 想要的物品，他们就可以交易成功。

对于 (k_1, k_2, n) 双向选择系统，可以给出最终的匹配成功对数为：

$$E(k_1, k_2, n) = k_1 \sum_{i=0}^{k_1} \left[\sum_{j=i+1}^{k_2} C_{k_1-1}^i C_{k_2}^j \left(\frac{1}{n^2}\right)^{i+j} \left(\frac{n^2-1}{n^2}\right)^{k_1+k_2-i-j-1} \right] + k_2 \sum_{j=0}^{k_2} \left[\sum_{i=j}^{k_1} C_{k_1}^{i+1} C_{k_2-1}^{j-1} \left(\frac{1}{n^2}\right)^{i+j} \left(\frac{n^2-1}{n^2}\right)^{k_1+k_2-i-j-1} \right]$$

PLoS ONE 文中给出了简洁实用模型的近似解析解。

B: 人类社会双向选择系统的数据收集及实证研究。男女之间的婚姻匹配选择是现实生活中典型的双向选择行为。我们通过互联网收集到的全国范围内 82 组不同时间、不同地点的相亲大会数据。根据搜集的现实中相亲大会数据，我们从个体层面和群体结构上对其统计特征进行细致的实证分析。

我们的模型揭示了男女婚姻匹配选择的如下双向选择机制 (见图 3)。

C: 人类社会双向选择系统模型验证和评估研究。模型建立之后，需要用实证数据对预测模型进行验证，评估其可靠性。图 4 展示了我们用实证数据对于所建模型的验证结果。如果所有的实证数据被包含在两条封闭曲线之内，则意味着实证数据可以被我们的模型很好预测。但是，当 ξ 相对较大 (对应于 k_1 相对较小) 时，图 4 显示出越来越多数据点跑出 $\eta=1$ 理论曲线之外。这并不难解释。当 $\eta=1$ 而 k_1 较小，意味着相亲大会的总的参与者人数少。

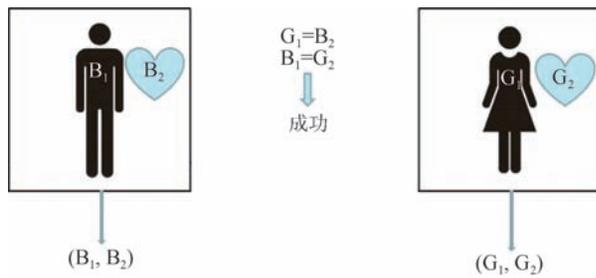


图3 男女婚姻匹配中的双向选择机制， B_1 和 G_1 分别表示男孩和女孩自身的属性条件； B_2 和 G_2 分别表示男孩和女孩想要择偶匹配的另一半的属性条件。如果男孩符合女孩的择偶要求，即 $B_1=G_2$ ，女孩也符合男孩的择偶要求，即 $B_2=G_1$ ，那么男孩 B 和女孩 G 就可以彼此择偶匹配成功

这可能是一些举办相亲大会的组织者首先对报名参加相亲大会的人员进行了有条件的筛选，导致只有少部分容易匹配成功的人员参加相亲大会。

另一种可能是，当相亲大会的参与者人数比较少时，参与者心里会认为找到自己想要的另一半的概率会很低，因而不会刻意去寻找自己想要的特定理想类型，而是改变初衷从少量异性参与者中选择一个相对条件比较宽松的另一半。

以上两种情况都将导致相亲大会参与人数越少，个体成功匹配概率反而越高的结果。

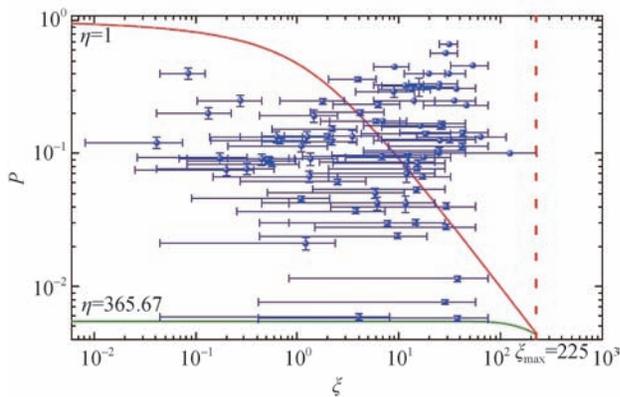


图4 实证数据对模型的验证。横坐标 $\zeta=n^2/k_1$ ，纵坐标 P 为相亲大会个体成功匹配率。 $\eta=k_2/k_1$ ；黑圆点为实证数据，上下两条曲线为模型预测结果的上限和下限；点在垂直方向上的取值范围为概率 P 的误差空间，点在水平方向的取值范围为 ζ 可能存在的取值空间

四、基于任意复杂网络的双向选择现象研究

我们在 2015 年底发表的文章 [Bin Zhou, Zhe He, Luo-Luo Jiang, Nian-Xin Wang, and Bing-Hong Wang.

Bidirectional selection between two classes in complex social networks. Scientific reports 4(2014).] 中，将双向选择机制拓展到任意复杂网络上，包括各种网络模型（ER 随机网络，WS 小世界网络，BA 无标度网络）以及现实世界中的各种真实网络。我们的研究结果表明：网络结构对双向选择个体匹配率有重要影响。可以发现：WS 小世界网络的拓扑结构最有利于匹配，而 BA 无标度网络则最不利于匹配。这似乎表明：WS 小世界网络的形成对应于现实生活中社交网络的演化形成是朝着更有利于异性个体之间匹配趋势进行的。我们通过断边重连改变 WS 小世界的网络结构，发现双向选择系统的匹配结果将随断边重连概率之变化而呈现丰富多样的变化。

A: 基于任意复杂网络的双向选择模型

设定初始网络中所有节点被分成 A, B 两个集合，集合 A 中有 M 个节点，集合 B 中有 N 个节点，每个节点代表一个个体，因此整个网络一共有 $M+N$ 个个体，可供选择的特征总数为 μ ，每个节点的状态也已经确定。首先我们需要先对网络进行重构，对于网络中任意相连的两个人，断掉不满足成功匹配条件的边，然后删除度为零的个体，最后得到一个新的二分图网络。在这个二分图网络中，属于集合 A 的个体还剩 m 个，属于集合 B 的个体还剩 n 个，因此新的二分网络中一共有 $m+n$ 个个体，如图 5 所示。进一步通过平均场理论，我们可以得到双向选择机制在任意复杂网络上的解析解如下：

$$A = \frac{2E(M, N, \mu)}{M + N} = \frac{m - \sum_{i=1}^m \prod_{h=1}^{k_i} \left(1 - \frac{1}{k_h}\right) + n - \sum_{j=1}^n \prod_{h=1}^{k_j} \left(1 - \frac{1}{k_h}\right)}{M + N}$$

其中 A 表示个体成功匹配率， E 代表成功匹配的对数， μ 是节点特征的不同类型数。其详细计算过程和方法请参考上述 *Scientific Reports* 所发表文章。

B: 网络结构对个体双向选择行为的影响研究

在第三节中关于双向选择机制的初步研究是建立在一个全联通网络上，这里将双向选择机制拓展到任意复杂网络上。因此在第三节实际可以看作本节的一个特例。在不同的 ER 随机网络平均度条件下，图 6 展示了网络规模和个体成功匹配率之间的关系。随着网络规模的增大，网络由全联通网络变为稀疏网络。

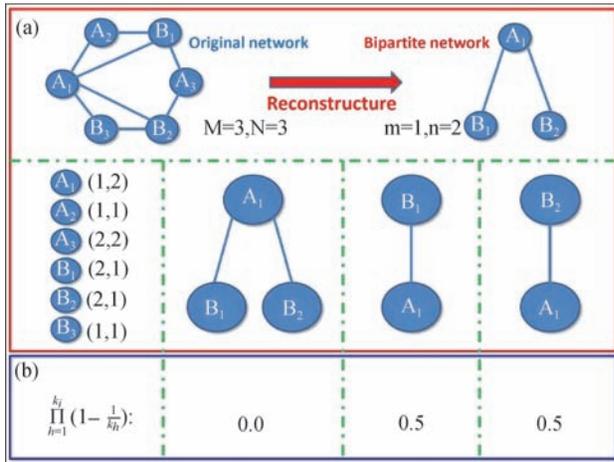


图5 双向选择机制在复杂网络上的解析方法示意图

我们发现在网络规模处于最小值时，网络为全联通网络，其个体成功匹配率与全联通网络结果一致，说明了第三节工作确实是本节工作的一个特例。

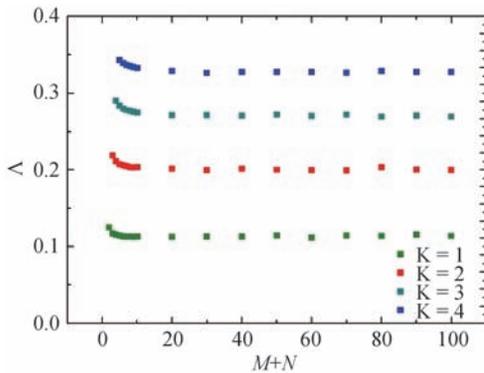


图6 在ER随机网络上，随着网络规模的增加，网络结构由全联通网络过渡到稀疏网络，个体成功匹配率的变化。横坐标 $M+N$ 表示网络规模，纵坐标 Λ 表示个体成功匹配率

我们研究了双向选择机制在四个常见网络上的对比：规则网络，ER随机网络，WS小世界网络，BA

无标度网络。从图7可以发现WS小世界网络的拓扑结构最有利于匹配，而BA无标度网络的拓扑结果最不利于匹配。WS小世界网络主要用以刻画现实中的社交网络。因此我们的双向选择机制研究似乎暗示着现实中社交网络的演化形成是朝着社团最有利于异性个体之间的匹配这一方向进行的。

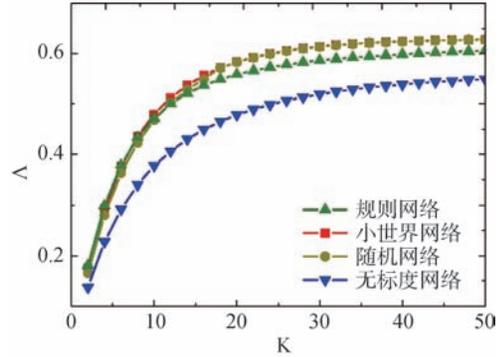


图7 不同网络结构中，随着网络平均度的改变，个体成功匹配率的对比

五、结束语

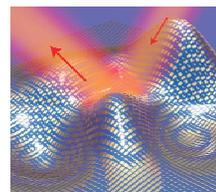
综上所述，双向选择行为在人类社会中普遍存在，体现在人类生活的多个领域。双向选择系统显然是一个异常复杂系统。对于现实中众多双向选择现象的观察、分析和研究，我们仍然缺乏相关的模型和研究方法。本文用复杂网络科学的方法和手段对社会中普遍存在的人类双向选择行为进行研究，可以说还是刚刚起步。通过对人类社会现实中双向选择系统大数据的一些统计特征分析，我们发现了一些内在规律和动力学机制。这对于未来关于人类双向选择行为的进一步深入研究具有启示意义，是一个良好的开端。



科苑快讯

紧身的隐形斗篷

科学家们在制造哈利·波特式隐形斗篷的征途上又前进了一步，不过与哈利·波特的隐身衣相比，它实在太小了。美国加利福尼亚大学伯克利分校（University of California in Berkely）的倪新杰（Xingjie Ni 音译）展示了他们制作的80纳米（光波波长的1/10）厚的隐形斗篷，其工作原理是利用纳米天线（绝缘体上的



小金块）制成超材料改变光线的反射方向，从而实现隐形的目的。

目前这种装备需要根据隐藏的物体进行定制，还不能隐藏所有波长的光线，但是已经向梦幻成真的方向上迈出了重要一步。

（高凌云编译自2015年11月13日《欧洲核子中心快报》）