

度关联无标度网络上的有倾向随机行走

胡耀光 王圣军 金涛 屈世显

Biased random walks in the scale-free networks with the disassortative degree correlation

Hu Yao-Guang Wang Sheng-Jun Jin Tao Qu Shi-Xian

引用信息 Citation: *Acta Physica Sinica*, 64, 028901 (2015) DOI: 10.7498/aps.64.028901

在线阅读 View online: <http://dx.doi.org/10.7498/aps.64.028901>

当期内容 View table of contents: <http://wulixb.iphy.ac.cn/CN/Y2015/V64/I2>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

非均齐超网络中标度律的涌现 -----富者愈富导致幂律分布吗?

Emergence of scaling in non-uniform hypernetworks-----does "the rich get richer" lead to a power-law distribution?

物理学报.2014, 63(20): 208901 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.63.208901>

基于复杂网络理论的微博用户关系网络演化模型研究

An evolution model of microblog user relationship networks based on complex network theory

物理学报.2014, 63(20): 208902 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.63.208902>

复杂网络中带有应急恢复机理的级联动力学分析

Analysis of cascading dynamics in complex networks with an emergency recovery mechanism

物理学报.2014, 63(15): 158901 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.63.158901>

动态银行网络系统中系统性风险定量计算方法研究

Calculation of system risk in a dynamical bank network system

物理学报.2014, 63(3): 038902 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.63.038902>

一种复杂网络路由策略的普适优化算法

A pervasive optimized algorithm for complex network routing strategy

物理学报.2014, 63(2): 028901 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.63.028901>

度关联无标度网络上的有倾向随机行走^{*}胡耀光 王圣军 金涛 屈世显[†]

(陕西师范大学物理学与信息技术学院, 理论与计算物理研究所, 西安 710062)

(2014年3月19日收到; 2014年9月9日收到修改稿)

有倾向随机行走是研究网络上数据包路由策略的有效方法. 由于许多真实技术网络包括互联网都具有负的度关联特征, 因此本文研究这种网络上的有倾向随机行走性质. 研究表明: 在负关联网络上粒子可以在连接度较大的节点上均匀分布, 而连接度小的节点上粒子较少; 负关联网络上随机行走的速度比非关联网络更快; 找到了负关联网络上的最佳倾向性系数, 在此情况下负关联网络上随机行走的速度远快于非关联网络. 负关联网络既可以利用度小的节点容纳粒子, 又可以利用度大的节点快速传输, 这是负关联网络上高行走效率产生的机制.

关键词: 复杂网络, 无标度网络, 随机行走, 度关联**PACS:** 89.75.Hc, 05.40.Fb, 05.60.-k**DOI:** 10.7498/aps.64.028901

1 引言

复杂网络能很好地描述人类社会和自然界一些复杂系统的结构, 例如互联网、万维网、科学家协作网络以及神经网络等^[1,2]. 近年来复杂网络的研究发现, 在真实网络中节点连接都遵循一定的规则, 而不是随机网络^[3,4]. 一个重要的特征是少数节点往往拥有大量的连接, 而大部分节点的连接却很少, 节点的连接度符合幂律分布. 度分布符合幂律分布的复杂网络被称为无标度网络^[5]. 真实网络还有另外一个特点就是节点之间具有连接度的关联性. 如果网络中连接度大的节点更倾向于连接度大的节点, 这种网络称为正关联网络. 如果连接度大的节点更倾向于连接度小的节点, 这种网络被称为负关联网络^[6,7], 例如万维网、互联网等通信网络都是具有负关联性质的无标度网络^[8].

随机行走是模拟物理中常用的一种方法^[9-12], 研究复杂网络上随机行走也是解决真实网络中一些问题的有效方法. 例如, 通信高峰时网络中数据

包出现阻塞现象导致数据包传输速度缓慢, 我们拟通过复杂网络模型上进行随机行走模拟研究寻找提高通信网络质量的有效方法. 目前, 通信网络中数据包的路由策略是最短路径传输策略^[13]. 采用这种策略时网络中的每个节点都储存整个网络的拓扑结构. 当一个节点发送数据包给一个目标节点时, 起始节点根据自己内存中的网络拓扑计算出到达目标节点的一条最短路径, 即通过节点数最少的路径, 数据包通过这条路径到达目标节点. 该策略的一个弊端是存储网络拓扑结构和计算路径的开销较大, 所以只适合规模较小的网络; 另一个弊端是大量节点对之间的最短路径要通过网络中连接度最大的点, 由于需要处理的数据包数量巨大易导致网络堵塞. 第二种策略为本地路由策略, 即每个节点只知道自己邻居节点的信息, 起始节点根据一定的规则将数据包发送到自己一个邻居节点, 然后该邻居节点再将数据包发送到自己一个邻居节点, 循环下去, 直至到达目标节点为止. 这种策略可以克服最短路径传输策略的缺点, 作为一个有重要意义的路由策略, 其研究引起了广泛关注^[14].

^{*} 国家自然科学基金 (批准号: 10875076, 11305098, 11147020) 和中央高校基本科研业务费专项资金 (批准号: GK201302008) 资助的课题.

[†] 通信作者. E-mail: sxqu@snnu.edu.cn

以前的工作研究了基于邻居连接度的有倾向随机行走. 在非关联的无标度网络模型中节点的连接度对数据包随机行走的影响为: 当数据包倾向于向连接度大的邻居行走时, 网络通畅通信时间随着目标节点度的增大而减小; 如果网络中数据包的流量较大, 大量数据包发往度大的节点, 容易造成通信阻塞^[15,16]. 当倾向于向较小的邻居发送数据包时, 通信时间随着目标节点度的增大而增大. 研究发现第二种策略改善了易阻塞的情况, 得到了最不容易发生交通阻塞的条件.

但是在以前的研究中没有考虑度关联特性, 而真实网络中各节点之间的连接具有度关联性. 对于互联网来说, 它具有明显的负关联. 所以本文研究度关联性质对于无标度网络上有倾向随机行走的影响, 并研究使网络中数据流量最大的随机行走策略.

2 模 型

我们首先使用BA模型构造无标度网络^[17]. 网络从 m_0 个节点开始生长, 每个时间步添加一个具有 m ($m \leq m_0$) 条边的新节点 i . 节点 i 以优先选择概率 p_{ij} 连接到网络中节点 j 上, 优先选择概率由下式确定

$$p_{ij} = \frac{k_j}{\sum_m k_m}, \quad (1)$$

其中, 分母是网络中已经存在节点的连接度之和. 重复上述生长步骤直到网络达到足够大的规模. 本文采用的网络不同于以往研究中使用的配置模型^[5], 在以往的模型中, 首先给定每个节点的连接度, 然后把节点随机地连接起来. 本文中使用的Barabási-Albert (BA) 无标度网络模型是一个生长的无标度网络模型, 它模拟了互联网的生长过程.

构造具有负的度关联网络的方法是: 任意选择两条边的四个端点, 打断它们的原有连接, 再以概率 p 将度大的点和度小的点连接起来, 再将另两个点连接起来, 或者以概率 $1-p$ 把四个点随机连起来. 连接过程中不允许一个节点连接到自己, 并且禁止建立重复连接. 重复上述过程, 直到网络的节点之间的连接具有足够强的负相关性. 我们用皮尔森相关系数衡量度关联属性, 该系数是用来反映两个变量线性相关程度的统计量, 用符号 r 表示. 在

网络中节点连接度的关联系数的计算公式为

$$r = \frac{M^{-1} \sum_i j_i k_i - \left[M^{-1} \sum_i \frac{1}{2} (j_i + k_i) \right]^2}{M^{-1} \sum_i \frac{1}{2} (j_i^2 + k_i^2) - \left[M^{-1} \sum_i \frac{1}{2} (j_i + k_i) \right]^2}, \quad (2)$$

其中 j_i, k_i 表示第 i 条边的两个端点上节点的连接度, M 为边的总数量^[6]. 为了模拟互联网的情况, 我们构造 $r = -0.2$ 的负关联网络. 这个度关联系数的值是从实际网络中测量得到的^[16-19].

在该网络上, 我们随机选择一个数据包的起始节点和目标节点. 在传递过程中, 数据包从一个节点出发时, 如果节点的邻居中有目标节点, 数据包直接发送到目标节点, 否则以优先概率进行随机行走. 从当前节点 i 走到邻居节点 j 的概率为

$$w_{ij} = \frac{k_j^\alpha}{k_i \sum_{m=1} k_m^\alpha}, \quad (3)$$

其中, k_j 为邻居节点 j 的连接度, α 是控制倾向性的可调节参数. 当 $\alpha > 0$ 时, 连接度 k_j 越大, 下一步走到节点 j 的概率越大, 反之, 当 $\alpha < 0$ 时, 连接度 k_j 越小, 概率 w_{ij} 越大^[20].

3 结 果

首先, 我们通过计算机模拟计算出了关联无标度网络与非关联无标度网络的占据概率 p_j^∞ . 它的意义是在时间无限长极限下, 节点 j 被数据包占据的概率. 在非关联无标度网络中, 占据概率的理论公式为^[5]

$$p_j^\infty = \frac{k_j^{\alpha+1}}{N \langle k^{\alpha+1} \rangle}, \quad (4)$$

从(4)式可以看出, 当 $\alpha > -1$ 时, 一个节点的度越大, 那么它的占据概率越大, 即被数据包访问的次数就越多; 当 $\alpha < -1$ 时, 一个节点的度越大, 它被数据包访问的次数就越少, 而连接度较小的节点被访问的次数更多; 当 $\alpha = -1$ 时, 节点被占据的概率不依赖于节点的度, 所有节点被访问的次数相同. 在这个条件下, 数据包在网络中的分布最均匀, 这时最不容易发生阻塞^[5]

图1为占据概率与节点连接度的关系, 横坐标为节点的度, 纵坐标为节点的占据概率. 从图中可以看出, 模拟得到的BA网络上占据概率与理论结果符合得很好. 然而, 从图1(b)可以看到, 关联网络上的占据概率明显地偏离了理论结果, 这说明节点度的大小并不完全决定给定行走策略下节点的占据行为, 度的负关联性影响了无标度网络上随机行走行为. 当 $\alpha = 1$ 时, 数据包倾向于传递给连接度大的邻居, 此时, 度关联导致连接度小的节点被占据的概率增大, 而连接度大的点被占据的概率减小. 当 $\alpha = -1$ 和 $\alpha = -2$ 时, 度关联属性导致连接度小的节点占据概率减小, 连接度大的节点的占据概率增加. 值得注意的是, 在没有度关联的网络中 $\alpha = -1$ 时, 占据概率不依赖于节点的度, 是一个常数. 而在度关联网络上 $\alpha = -1$ 的情况下, 占据概率不再是一个常数, 而是依赖于节点连接度的, 这说明 $\alpha = -1$ 不再是数据包在网络上分布的最均匀条件. 我们将在后面更深入地分析数据包的分布.

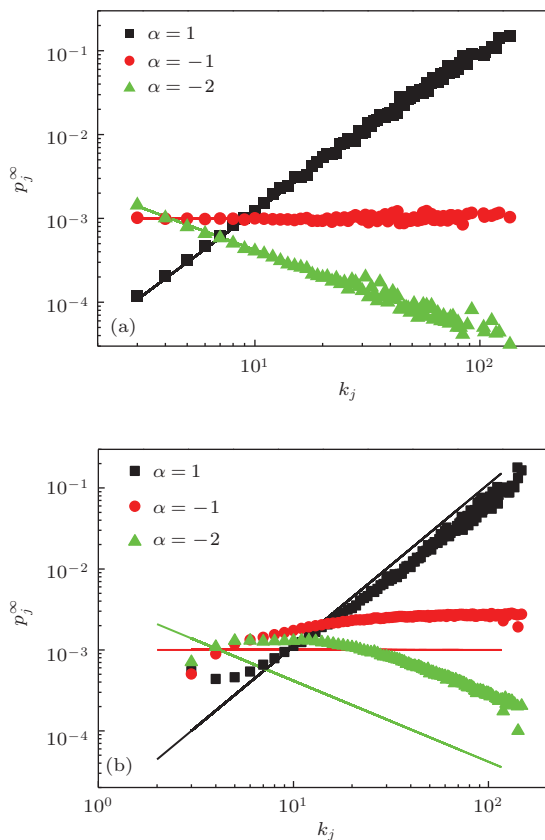


图1 (网刊彩色) 节点上的占据概率与节点连接度的关系 (a) BA 无标度网络; (b) 负关联无标度网络, 关联系数为 $r = -0.2$; 网络规模 $N = 1000$, $m = 3$; 直线为BA网络的理论值, 点线为模拟结果

接下来计算自回归时间, 它是指数据包从起始节点出发到重新返回到起始节点的这段时间的长度, 可以反映出随机行走的快慢, 这里自回归时间用随机行走的步数表示. 图2为自回归时间与数据包出发节点连接度之间的关系, 横坐标为节点连接度, 纵坐标为节点的自回归时间. 在非关联无标度网络中, 自回归时间的理论公式为[5]

$$T_{ii} = \frac{N \langle k^{\alpha+1} \rangle}{k^{\alpha+1}}. \quad (5)$$

由图2(a)可见, 我们模拟得到的BA网络之自回归时间与理论值基本一致. 在图2(b)中, 关联网络的模拟结果明显偏离了非关联网络的理论值. 这个结果表明, 自回归时间不完全取决于节点度, 度关联网络可以影响随机行走的自回归时间. $\alpha = 1$ 时, 所有点发出的数据包的自回归时间基本都增大了; $\alpha = -1$ 和 -2 情况下, 除了连接度最小的一部分点外, 大部分点上发出的数据包都具有更小的自回归时间. 本文的结果说明负的度关联有利于提高数据包的传输速度.

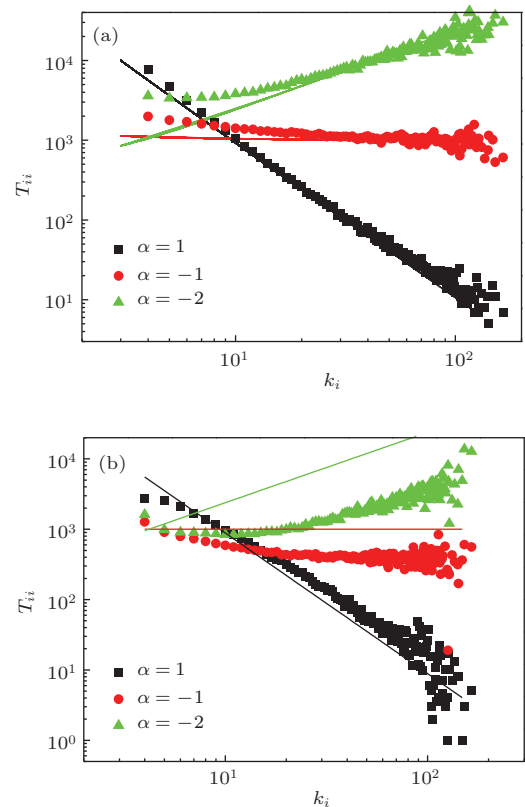


图2 (网刊彩色) 自回归时间与节点度的关系 (a) BA 无标度网络; (b) 负关联无标度网络; 网络规模 $n = 1000$, $m = 3$; 直线表示BA网络的理论值, 点线为模拟结果

图3为平均到达时间与目标节点度之间的关系, 横坐标是目标节点的度, 纵坐标为数据包的平

均到达时间. 在非关联无标度网络中, 平均到达时间的计算公式为^[5]

$$T_{ij} = \frac{N\langle k^{\alpha+1} \rangle}{k_j^{\alpha+1}} + \frac{N\langle k^2 \rangle}{\langle k^2 \rangle} \frac{1}{k_j} - 2. \quad (6)$$

从图3(a)中可以看出, BA无标度网络中理论值和实验值基本一致. 图3(b)表明, 在关联无标度网络中平均到达时间与非关联网络不同. 当 $\alpha = -1$ 和 $\alpha = -2$ 时, 除少数度值较小的节点平均到达时间增大外, 其他节点度值较大节点的平均到达时间都在缩短. 这说明负关联有利于减少数据传递时间, 提高数据传输效率.

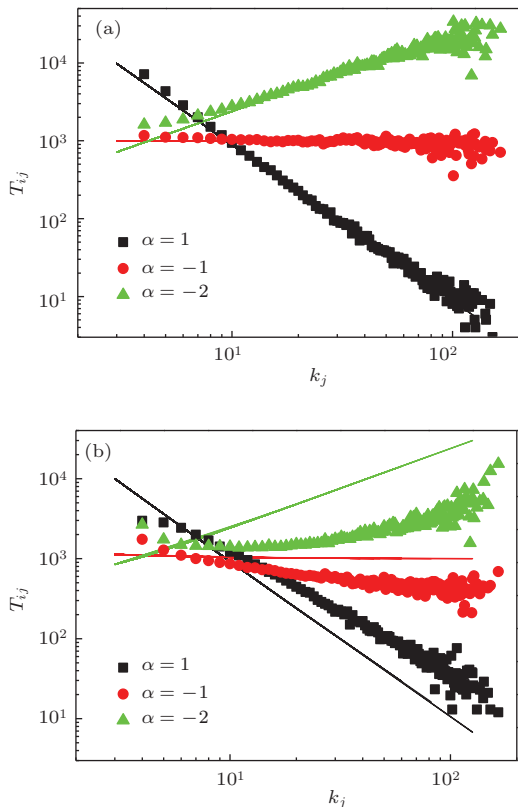


图3 (网刊彩色) 到达时间与目标节点连接度的关系 (a) BA无标度网络; (b) 负关联无标度网络; 网络规模 $n = 1000$, $m = 3$; 直线为BA网络的理论值, 点线为模拟结果

接下来, 我们研究最佳倾向性条件. 我们知道, 对于通信网络, 并非信息源发送多少数据包都能快速到达接收源. 因为网络中数据包容量并非无限制的, 而是有一个固定的数值, 我们称之为数据包临界生成率, 用 R 表示. 当网络中的数据包产生量小于 R 时, 数据包到占据概率最大的节点后, 可以被顺利地转发出去, 此刻网络表现为通畅状态. 当数据包的产生量大于 R 时, 由于有大量数据包发送到占据概率最大的节点, 超过了转发能力, 将造成数

据包的堵塞, 此时网络表现为阻塞情况. 文献[5]指出, 造成网络拥堵的最主要原因是网络中节点转发数据包数量分布具有不均匀性. 大部分数据包都是由少数特定的节点转发出去, 而多数节点只转发了很少部分数据包, 造成少数节点超负荷的工作, 大部分节点却很“悠闲”, 这种情况大大地降低了网络的通信效率. 如果每个节点的数据包发送量几乎是相同的, 网络中将不容易发生信息拥堵, 此时网络的通信量将达到最大. 所以我们关心在什么情况下网络中所有节点的占据概率差别最小.

由图1的结果可知, 度关联的网络中, $\alpha = -1$ 不再是数据包分布最均匀的条件. 为了揭示倾向性控制参数 α 对于占据概率平均程度的影响, 我们计算了多个 α 值下的占据概率与节点连接度的关系, 如图4.

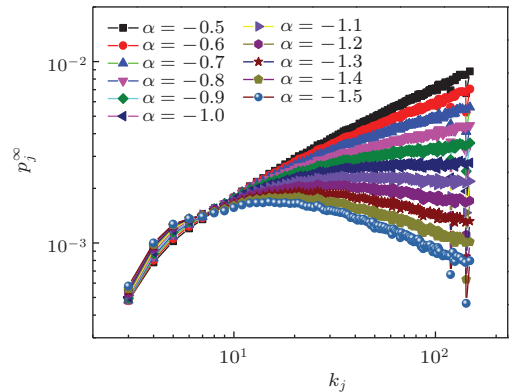


图4 (网刊彩色) 负关联网络不同 α 值下占据概率与节点度的关系 (网络规模 $N = 1000$, $m = 3$)

图4是可调参数 α 取值范围在 -0.5 — -1.5 之间的情况下占据概率的计算结果. 从结果中看出, 当节点连接度小于10时, α 对节点的占据概率几乎没有影响, 在这一区域, p_j^{∞} 总是随着 k_j 上升. 所以在此负关联网络中, 不存在 p_j^{∞} 为常数的情况. 当连接度大于10时, 占据概率明显地随着控制参数 α 变化, 所以我们寻找在这个区域中 p_j^{∞} 最平滑的情况, 计算了曲线 $p_j^{\infty}(k_j)$ 在 $k_j < 10$ 的区域中的方差, 如图5所示.

从图5(a)可以看出, 当 $\alpha = -1.1$ 时, σ 的值最小, 说明各节点的占据概率相差最小. 也就是说在具有负关联无标度性质的通信网络中, α 值取 -1.1 时, 网络最不容易发送阻塞, 说明负相关性度关联网络上的最佳路由策略更加倾向于选择连接度小的邻居.

在具有不同程度负相关性的度关联网络上, 均可发现随机行走的性质发生上述变化. 我们系统地计算了不同负相关性网络上的占据概率, 通过分析占据概率曲线的方差得到了最佳倾向性控制参数值与网络的皮尔森度关联系数的关系. 如图5(b)所示, 当网络具有负的度关联属性时, 随着度关联系数下降, 最佳倾向性控制参数值单调地下降. 这说明随着度关联属性增强, 随机行走的特性逐渐偏离无度关联网络.

接下来研究关联无标度网络 $\alpha = -1.1$ 时的自

返回时间与到达时间. 用真实互联网具有的度关联系数 $r = -0.2$ 为例, 结果如图6所示. 从图中可以看出, 当 $\alpha = -1.1$ 时, 关联无标度网络中数据包的回返时间和到达时间几乎都小于非关联无标度网络的理论值, 并且这个差别十分明显. 图6的结果说明, 同样在网络通信流畅情况下, 度关联网络明显减小通信时间, 提高了网络的通信效率.

为了理解负关联网络上随机行走的高效性, 我们分析了数据包随机行走路径对于网络结构的依赖关系. 图7为当 $\alpha = -1$ 时数据包经过时间与经过

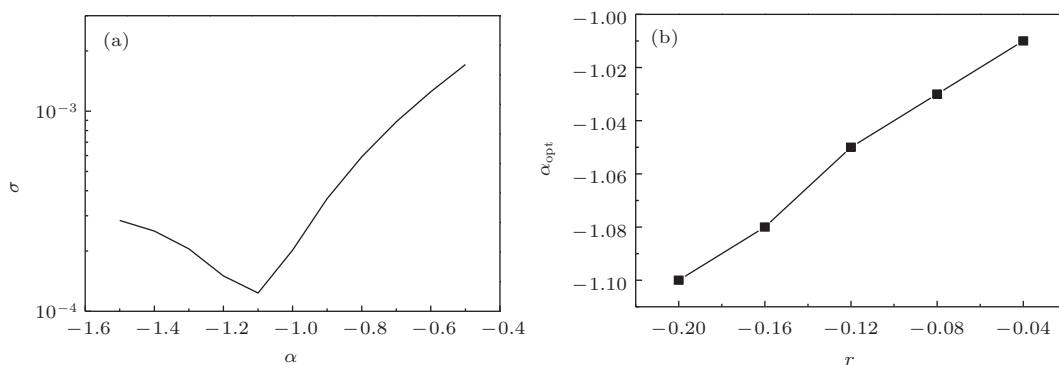


图5 (a) 在连接度大于10的节点上占据概率的方差 σ 与倾向性控制参数 α 的关系, 网络的皮尔森度关联系数为 $r = -0.2$; (b) 最佳倾向性控制参数值 α_{opt} 与网络的皮尔森度关联系数 r 的关系

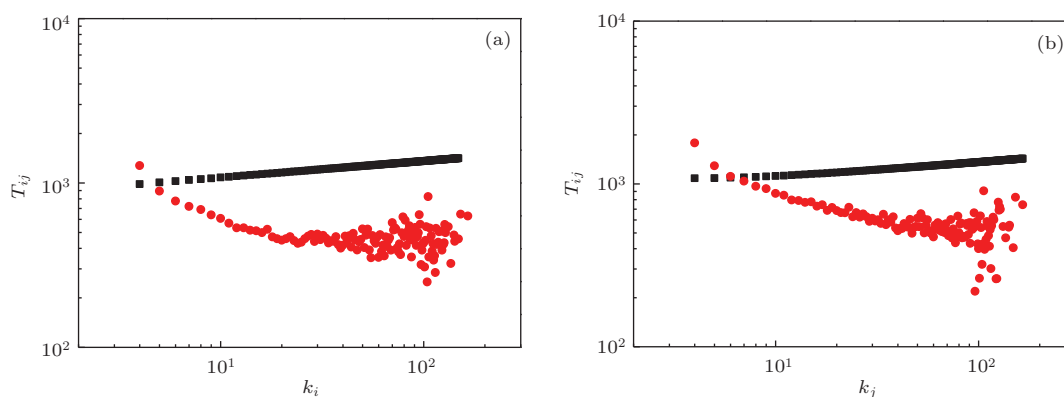


图6 (网刊彩色) (a) $\alpha = -1.1$ 时自返回时间与节点度的关系, 其中方块为负关联网络上的模拟结果, 圆形为BA网络上的理论值; (b) $\alpha = -1.1$ 时的负关联网络上的平均到达时间的模拟结果 (方块) 和非关联网络的理论值 (圆形)

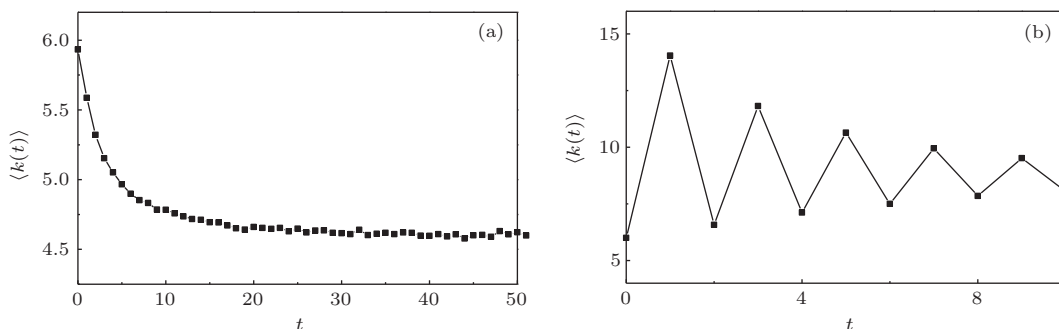


图7 数据包经过的节点的度, 倾向性控制参数 $\alpha = -1$ (a) 非关联网络; (b) 负关联网络

节点的连接度之间的关系, 这里的时间是随机行走的步数, 每个时间步上数据包所在节点的连接度在 10000 次行走上做了平均. 当 $\alpha = -1$ 时, 数据包倾向于被发往度小的邻居. 图 7(a) 显示数据包在非关联网络中的随机行走趋于度小的点, 而度小的点的邻居节点为目标节点的概率较小, 所以数据包长时间地在连接度小的节点之间传递, 到达目标节点的时间也就较长. 图 7(b) 显示数据包在负关联网络中数据包行走路径上的节点包含更多连接度大的节点. 虽然数据包倾向于被发往连接度值较小的点, 但是在负关联网络中度小的点的邻居都为度值较大的点, 所以数据包的传递路径具有的特点是: 度值小的节点上的数据包被发往度值大的节点, 如果没有找到目标节点, 则下一步发往度小的节点, 如此重复. 当数据包在度大的节点上时, 它有更大的概率找到目标节点, 所以传递速度更高. 在这种情况下, 数据包既可以被传递到小的节点, 使小节点起到缓存的作用不至于阻塞大的节点, 又可以利用大节点加快传递速度.

4 结 论

本文利用随机行走模拟方法研究了负的度关联无标度网络上的路由策略. 模拟表明度关联属性对于倾向性随机行走具有重要的影响. 在负关联网络上, 数据包在各种连接度的节点上均匀分布的情况无法实现. 连接度小的节点上占据概率不受随机行走倾向性的影响. 对于倾向性控制参数的各种取值, 小连接度节点的占据概率始终较低, 而较大连接度的节点上占据概率可以不依赖于连接度. 最佳倾向性策略下, 数据包在网络中的分配情况是连接度最小的节点上数据包较少, 连接度较大的节点上数据包分布比较均匀. 我们计算出了最佳倾向性控制参数的值, 最佳策略是倾向于选择连接度小的邻居的, 这与非关联网络的最佳策略一致. 当考虑不同度关联系数的网络时, 负关联网络具有相似的性质, 并且随着度关联属性增强最佳倾向性控制参数逐渐减小.

更重要的是, 本文的结果表明, 负的度关联属性明显地提高了随机行走的速度. 在倾向于选择小连接度的策略下, 除了最小的节点外, 从其他节点出发的随机行走的自回归时间明显低于相同策略下的非关联网络, 随机行走的平均到达时间也具有

相同的结果. 特别是在最佳策略情况下, 自回归时间和平均到达时间相对于非关联网络小很多. 由于负的度关联是真实互联网具有的结构属性, 本文的结果意味着真实互联网可以很好地发挥依赖于连接度的倾向性局域路由策略优势.

本文提出了负关联网络上具有上述优势的机制. 在倾向于度小节点的随机行走策略下, 非关联网络中的数据包在小节点上传递, 增大了网络容量而延长了传递时间. 负关联网络中度小的节点的邻居是度大的节点, 即使在倾向于度小节点的策略下, 数据包也有机会被传递到大的节点上, 从而加快了随机行走的速度.

本文指出负的度关联网络上倾向性随机行走与无关联网络的区别, 表明了负关联属性有利于提高倾向性随机行走的效率, 并为倾向性路由策略的实施效果提供了一些理论预言. 现实世界中大量的技术网络和生物网络都具有负的度关联性质, 并且大多数网络的动力学都依赖于组成网络的节点之间相互通信来实现集体行为. 所以本文研究的随机行走问题也有助于对于更多真实系统的集体行为研究.

参考文献

- [1] Wang K, Zhou S Y, Zhang Y F, Pei W J, Liu Q 2011 *Acta Phys. Sin.* **60** 118903 (in Chinese) [王开, 周思源, 张毅峰, 裴文江, 刘茜 2011 物理学报 **60** 118903]
- [2] Jia X, Hong J S, Yang H C, Yang C, Shi X H, Hu J Q 2014 *Chin. Phys. B* **23** 076401
- [3] Barabási A L, Albert R 1999 *Science* **286** 509
- [4] Wang D L, Yu Z G, Anh V 2012 *Chin. Phys. B* **21** 080504
- [5] Fronczak A, Fronczak P 2009 *Phys. Rev. E* **80** 016107
- [6] Vazquez A, Moreno Y 2003 *Phys. Rev. E* **67** 015101c
- [7] Pastor-Satorras R, Vazquez A, Vespignani A 2001 *Phys. Rev. Lett.* **87** 258701
- [8] Tadic B, Thurnerb S 2004 *Physica A* **332** 566
- [9] Wu W, Jiang F M, Zeng J B 2014 *Acta Phys. Sin.* **63** 048202 (in Chinese) [吴伟, 蒋方明, 曾建邦 2014 物理学报 **63** 048202]
- [10] Song L J, Tang G, Zhang Y W, Han K, Xu Z P, Xia H, Hao D P, Li Y 2014 *Chin. Phys. B* **23** 010503
- [11] Wang Y Q, Yang X Y 2013 *Chin. Phys. B* **22** 010509
- [12] Liu J, Bao J D 2013 *Chin. Phys. Lett.* **30** 020202
- [13] Jiang Z Y, Wang H, Gao C 2011 *Acta Phys. Sin.* **60** 058903 (in Chinese) [姜志远, 王晖, 高超 2011 物理学报 **60** 058903]
- [14] Li S B, Lou L L, Chen R X, Hong L 2014 *Acta Phys. Sin.* **63** 028901 (in Chinese) [李世宝, 娄琳琳, 陈瑞祥, 洪利 2014 物理学报 **63** 028901]

- [15] Liu G, Li Y S 2012 *Acta Phys. Sin.* **61** 248901 (in Chinese) [刘刚, 李永树 2012 物理学报 **61** 248901]
- [16] Noh J D, Rieger H 2004 *Phys. Rev. Lett.* **92** 118701
- [17] Wang S J, Wu A C, Wu Z X, Xu X J, Wang Y H 2007 *Phys. Rev. E* **75** 046113
- [18] Newman M E J 2002 *Phys. Rev. Lett.* **89** 208701
- [19] Chen Q H, Shi D H 2003 *Physica A* **335** 240
- [20] Wang W X, Wang B H, Yin C Y, Xie Y B, Zhou T 2006 *Phys. Rev. E* **73** 026111

Biased random walks in the scale-free networks with the disassortative degree correlation*

Hu Yao-Guang Wang Sheng-Jun Jin Tao Qu Shi-Xian[†]

(Institute of Theoretical and Computational Physics, School of Physics and Information Technology, Shaanxi Normal University, Xi'an 710062, China)

(Received 19 March 2014; revised manuscript received 9 September 2014)

Abstract

Random walk has been applied to exploring the effective transport strategy of data package in complex networks. Because the disassortative degree correlation is ubiquitous in technical networks including the internet, we study the biased random walks in the scale-free networks with the disassortative degree correlation. Computer simulation shows that the degree correlation changes the behavior of the random walk. Random walkers are located on small degree nodes with a low probability, and they can be distributed homogeneously on other nodes. We find out the optimal biased coefficient that ensures the most homogeneous distribution on large nodes. In the optimal case, the degree-correlated network exhibits a more efficient random walk than degree-uncorrelated networks. We propose the mechanism for the effect of the disassortative mixing on the random walk.

Keywords: complex network, scale-free network, random walk, degree correlation

PACS: 89.75.Hc, 05.40.Fb, 05.60.-k

DOI: 10.7498/aps.64.028901

* Project supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant Nos. 10875076, 11305098, 11147020), and the Fundamental Research Funds for the Central Universities, China (Grant No. GK201302008).

[†] Corresponding author. E-mail: sxqu@snnu.edu.cn