

一类权重网络的加速演化模型^{*}

覃 森[†] 戴冠中 王 林 范 明

(西北工业大学自动化学院, 西安 710072)

(2007 年 1 月 5 日收到, 2007 年 2 月 1 日收到修改稿)

采用动态形成权重网络的方法,研究了在演化过程中新增边具有加速连接情况下权重网络的拓扑特性和强度分布,给出了节点强度与度的解析表达式.分析表明,加速演化的权重模型具有明显的无标度特性.再者,只要权重网络的边权重服从某一概率分布,则在演化过程中强度择优连接与度择优连接对于网络的度分布没有影响,且与具体的概率分布无关.

关键词: 权重网络, 加速连接, 幂律分布, 强度

PACC: 0590, 0250

1. 引 言

复杂网络起源于许多现实社会中的复杂系统.近年来,随着小世界网络和无标度网络的提出和深入探讨,人们对复杂网络的研究兴趣越来越大^[1-7].对于大多数网络而言,一个基本的假设是每条边的功能是相同的^[8],在网络拓扑结构上表现为连接边的状态只有两种:连接与不连接,这种网络被称为二元网络(binary network).

但是,二元网络的网络拓扑并不能很好地模拟一些现实的复杂网络^[9].例如,对于科学合作网络,不同作者之间共同合作的文章数和合作频率存在较大的差异,这表明该网络中的边具有两个含义:一是作者之间的合作关系,二是作者之间的合作“质量”.对于因特网,不同的路由器连接之间的流量是不同的,因此通过不同的路由器的网络流量明显不同,那么路由器作为网络的节点不仅代表了网络之间的连接关系,还表示了该网络节点的负载.权重网络模型^[8-15]的引入正是为了解决此类的问题,它认为网络节点或边的作用不是等同的.

已有的结果表明形成权重网络的方法有两类:静态方法^[10-12]和动态方法^[9,13-15].静态方法是指二元网络根据某些规则演化到稳态阶段后,再根据网络节点的某些特性来定义边的权重,形成权重网络;

动态方法是由一个初始网络及其边的权重分布,根据一定的演化机理(一般与边的权重或节点的强度有关)来演化到稳态而得到权重网络.

许多演化网络都呈现出加速演化的特性,即新增节点所连接的边数是网络规模的增函数,从而整个网络的边数不是线性增长的.此类加速演化方式,可称为按网络规模加速^[16-19].另外,现实复杂网络中还有一定数量的节点,虽然它们的度较小,如果按照“度择优连接”规则,它们连接新边的概率较小,但此类节点连接新边的概率不仅与节点的度或强度有关,还与一段演化周期内连接的新边数或强度增加量有密切关系.此类加速方式与网络演化的时间步有关,可称为按演化周期加速.用加速连接的网络模型对现实社会的网络进行模拟更合理、有效.

2. 权重网络的加速演化模型

2.1. 权重网络的权重定义

在以往的研究中,研究者们考虑了许多种与两种权重网络形成方法相关的网络边权重定义.如对于静态方法的权重定义,一般采用节点的介数作为节点的强度^[8],或者边权重定义为此边两个端点的度乘积的函数^[10].对于动态方法的权重定义,除可采用静态方法的各种定义以外,还可对新加入的边

^{*} 国家高技术研究发展计划(863)批准号 2005AA147030 资助的课题.

[†] E-mail: qinsen0425@gmail.com

进行赋权处理,如根据一定的概率分布随机选择一个样本值,对新边赋权^[10].

在本文的研究中,由于考虑的权重网络模型是一类演化模型,故采用根据一定的概率分布对新加入的边进行赋权,主要采用的概率分布有三种:指数分布、正态分布和泊松分布.

2.2. 权重网络的加速演化模型

对于 Barabási 和 Albert 提出的无标度模型(BA 模型)^[21],节点获取新边的概率与该节点的度成正比,即该模型采用“度择优连接”原则,演化一段时间后,就形成了稳定的网络拓扑结构,即度分布服从幂律分布,且其幂律分布的指数趋近于 3. BA 模型的演化步骤:增长性,初始网络中包含 m_0 个节点,没有边,每次增加一个新的节点和与之相连的 $m(\leq m_0)$ 条新边,择优连接,网络中的节点获得新边的概率 π_i 与该节点的度成正比,即 $\pi_i = k_i / \sum_j k_j$.

本文采用动态方法形成权重网络,且考虑网络的加速演化特性,其演化步骤如下:

1) 初始网络中只有 m_0 个节点,每次增加一个新的节点和 $m(t) = t^\theta (0 \leq \theta \leq 1)$ 条新边.

2) 新边的权重 ω_{ij} 由权重定义给定,而节点的强度(strength)为 $s_i = \sum_j \omega_{ij}$.

3) 新边连接到节点 i 的概率与该节点的强度成正比,即 $\Pi_i = s_i / \sum_j s_j$.

4) 以一定的概率 α , m 条新边加入到网络中,加入的概率与最近 q 周期内所有节点连接新边的数量成正比.

在此演化过程中,步骤 1) 代表了网络具有边加速特性,步骤 2) 给出了边权重的定义,且定义了节点的强度.节点强度描述了节点的某种适应度,如在 Internet 网络中,它可以理解为通过该路由器的网络流量,在世界航空网络中,节点的强度越大,说明该城市的航空运输能力越强.步骤 3) 使得网络新加入的边按“强度择优”的原则进行连接,步骤 4) 考虑了权重网络按演化周期加速的情况.其中概率 α 的物理意义为网络中存在某些异常节点,其比例为 α ,这些节点连接新边的能力不仅与该节点的度有关,还可能额外获得一定数量的新边.比较上述两个演化过程可知,BA 模型只是加速权重网络的一个特例.

3. 加速权重网络的度分布与强度分布

令 $k_i(t)$ 和 $s_i(t)$ 分别为节点 i 在演化时刻 t 时

的度和强度.网络的节点总数为 $N(t) = t$, $M(t)$ 为 t 时刻网络的总边数.本文把服从概率密度为 $\varphi(x)$ 的概率样本值作为边的权重 ω_{ij} .采用平均场(mean-field)理论来分析网络的度分布与强度分布,它虽然是一种连续性近似方法,但可获得对网络拓扑性质的定性描述^[20-22].下面分三种情况来研究.

情形 1 $m(t) = t^\theta, \alpha = 0$,即在演化过程中,只考虑按网络规模加速而不考虑按演化周期加速的情形.在连续性假设下, t 时刻网络中所含的边数为 $M(t) = \int_0^t t^\theta d\theta = t^{1+\theta} (1 + \theta)$,因此网络所有节点的度之和为 $k_T = 2t^{1+\theta} (1 + \theta)$.由边权重的定义 $\omega_{ij} \sim \varphi(x)$ 可知,网络所有节点的强度之和为

$$\begin{aligned} S_T &= \sum_{i=1}^t s_i \\ &= \sum_{i=1}^t \sum_{j=1}^t \omega_{ij} \\ &\approx 2E(X)t^{1+\theta} (1 + \theta), \end{aligned} \quad (1)$$

其中, $E(X)$ 为该概率分布的均值.这表明对于整个网络来说,节点的强度之和与度之和具有如下关系:

$$s_T = E(X)k_T. \quad (2)$$

由“强度择优连接”与文献[20]和[21]可知,网络节点度 $k_i(t)$ 满足如下方程:

$$\frac{\partial k_i(t)}{\partial t} = \frac{1 + \theta}{2E(X)} \frac{s_i(t)}{t}, \quad (3)$$

而节点的强度 $s_i(t)$ 满足

$$\frac{\partial s_i(t)}{\partial t} = \frac{(1 + \theta)E(X)}{2} \frac{k_i(t)}{t}. \quad (4)$$

由(3)和(4)式得

$$\frac{\partial k_i(t)}{\partial s_i(t)} = \frac{s_i(t)}{[E(X)]^2 k_i(t)}, \quad (5)$$

从而有

$$s_i(t) = E(X)k_i(t). \quad (6)$$

由(2)和(6)式可知,虽然网络新加入的边的权重是某一概率分布的样本值,但当网络演化到稳态阶段后,无论是网络所有的节点度之和相对于整个网络的强度之和,还是每个节点的度相对于其强度,它们的关系都是不变的.

把(6)式代入(3)式,有

$$\frac{\partial k_i(t)}{\partial t} = \frac{1 + \theta}{2} \frac{k_i(t)}{t}. \quad (7)$$

由于此式与文献[17]的(4)式相同,根据文献的分析方法,可得

$$k_i(t) = i^\theta \left(\frac{t}{i}\right)^{(1+\theta)2}, \quad (8)$$

从而有

$$P(k) \sim k^{-\lambda}, \lambda = 1 + \frac{2}{1-\theta}. \quad (9)$$

这说明,对于只考虑按网络规模加速的权重演化网络来说,无论是采用强度择优连接,还是度择优连接,其网络的度分布均服从幂律分布,且其幂律指数也没有任何差别.

另一方面,从(9)式可以看出,度分布的幂律指数与网络的权重分布没有联系,也就是说,只要权重概率分布的均值存在,就可以得出该式.

虽然强度分布可由概率分布的叠加进行推导,如当边权重服从指数分布时,节点*i*的强度可看做是*k_i*个具有相同参数*v*的指数分布的和分布,但由于这*k_i*个指数分布不是相互独立的,所以不能简单地假设该和分布为Gamma分布 $Z \sim Ga(k_i, v)$ (此和分布是在独立的情形下得到的).另一方面,由(6),(8)(9)式可得,该网络的强度分布也满足幂律分布.因此,权重网络的强度分布服从幂律分布,与边权重的概率分布没有关系.

情形2 $m(t) = m, \alpha \neq 0$ 此时权重的演化过程只考虑了按演化周期加速,而不考虑按网络规模加速.在*t*时刻网络的总边数为

$$M(t) = mt + \alpha nt, \quad (10)$$

从而,节点度的变化方程为

$$\frac{\partial k_i(t)}{\partial t} = \frac{ms_i(t)}{\alpha mt + \alpha nt} E(X) + \alpha n \frac{k_i(t) - k_i(t-q)}{\alpha [M(t) - M(t-q)]}, \quad (11)$$

式中右边第二项代表考虑按演化周期加速时,网络节点度的变化情况.

由(10)可得

$$\begin{aligned} & \frac{k_i(t) - k_i(t-q)}{M(t) - M(t-q)} \\ &= \frac{k_i(t) - k_i(t-q)}{(m + \alpha n) [t - (t-q)]} \\ (*) \quad & \frac{\partial k_i(\xi)}{(m + \alpha n) \partial \xi} \\ & \approx \frac{1}{(m + \alpha n)} \frac{\partial k_i(t)}{\partial t}, \end{aligned} \quad (12)$$

其中, $\xi \in (t-q, t)$,而(*)表示式中使用了微分中值定理.由(12)式可知,当有一部分节点按演化周期加速连接新边时,这种加速连接方式与节点度的变化速率有关(具体地为加大了度的变化速率),而不是与节点的度直接相关,使得人们常常忽略此种加速连接方式的存在.

把(12)式代入(11)式有

$$\frac{\partial k_i(t)}{\partial t} = \frac{m}{(2m + \alpha n)E(X)} \frac{s_i(t)}{t}. \quad (13)$$

另一方面,由在*t*时刻,网络强度的增加为 $\Delta s(t) = (m + \alpha n)E(X)$,从而节点强度的变化方程满足

$$\begin{aligned} \frac{\partial s_i(t)}{\partial t} &= (m + \alpha n)E(X) \frac{k_i(t)}{2M(t)} \\ &= \frac{E(X)}{2} \frac{k_i(t)}{t}. \end{aligned} \quad (14)$$

由(13)和(14)式得

$$\frac{\partial k_i(t)}{\partial s_i(t)} = \frac{2m}{(2m + \alpha n)E(X)} \frac{s_i(t)}{k_i(t)}, \quad (15)$$

从而有

$$s_i(t) = \sqrt{1 + \frac{\alpha n}{2m} E(X)} k_i(t). \quad (16)$$

把(16)式代入(13)式,有

$$\frac{\partial k_i(t)}{\partial t} = \sqrt{\frac{m}{\alpha(2m + \alpha n)}} \frac{k_i(t)}{t}. \quad (17)$$

令 $\beta = \sqrt{\frac{m}{\alpha(2m + \alpha n)}}$,从而由 $\beta(\lambda - 1) = 1$ 得,此网络度的幂律分布指数为

$$\lambda = 1 + \sqrt{4 + \frac{2\alpha n}{m}}. \quad (18)$$

显然,此网络的幂律分布指数大于3.

情形3 $m(t) = t^\theta, \alpha \neq 0$ 此时权重的演化过程不仅考虑了按网络规模加速,而且考虑按演化周期加速.此时,由*M(t)*为*t*时刻网络的总边数,则有

$$M(t) = \frac{t^{\theta+1}}{\theta+1} + \alpha nt. \quad (19)$$

由演化步骤4)可得

$$\begin{aligned} \frac{\partial k_i(t)}{\partial t} &= \frac{t^\theta s_i(t)}{2 \left(\frac{t^{\theta+1}}{\theta+1} + \alpha nt \right) E(X)} \\ &+ \alpha n \frac{k_i(t) - k_i(t-q)}{\alpha [M(t) - M(t-q)]}. \end{aligned} \quad (20)$$

根据与上面相同的分析,由(19)式可得

$$\frac{k_i(t) - k_i(t-q)}{M(t) - M(t-q)} \approx \frac{1}{(t^\theta + \alpha n)} \frac{\partial k_i(t)}{\partial t}. \quad (21)$$

把(21)式代入(20)式有

$$\begin{aligned} \frac{\partial k_i(t)}{\partial t} &= \frac{(1 + \theta) t^\theta (t^\theta + \alpha n)}{(2t^\theta + \alpha n) [t^\theta + (1 + \theta)\alpha n] E(X)} \frac{s_i(t)}{t}. \end{aligned} \quad (22)$$

另一方面,由在*t*时刻,网络强度的增加为 $\Delta s(t) = (t^\theta + \alpha n)E(X)$,从而节点强度的变化方程满足

$$\frac{\partial s_i(t)}{\partial t} = (t^\theta + \alpha n)E(X) \frac{k_i(t)}{2M(t)}$$

$$= \frac{(1 + \theta) \int t^\theta + \alpha n E(Y)}{2 \int t^\theta + (1 + \theta) \alpha n} \cdot \frac{k_i(t)}{t} \quad (23)$$

由(22)和(23)式得

$$\frac{\partial k_i(t)}{\partial s_i(t)} = \frac{2t^\theta}{(2t^\theta + \alpha n)E(X)} \frac{s_i(t)}{k_i(t)} \quad (24)$$

(24)式和(5)(15)式比较,可知(24)式是(5)和(15)两式的推广.但是,很难从(22)和(23)式解出 $k_i(t)$ 和 $s_i(t)$ 的表达式.我们将用数值仿真的方法对该模型进行探讨.

由以上讨论可得如下结论:对于网络的边服从

某一概率分布时,不管该概率分布的形式如何,只要其均值存在,则在权重网络的演化过程中考虑边加速连接时,那么不管是度择优连接还是强度择优连接,该演化网络的度分布服从幂律分布,且具有相同的幂律分布指数.

4. 仿真实验

在数值仿真中,演化模型的参数为初始节点 $m_0 = 5$,每次增加的边数 $m = 5$,演化步数为 $N = 5000$.每个结果均是10次模拟的平均值.

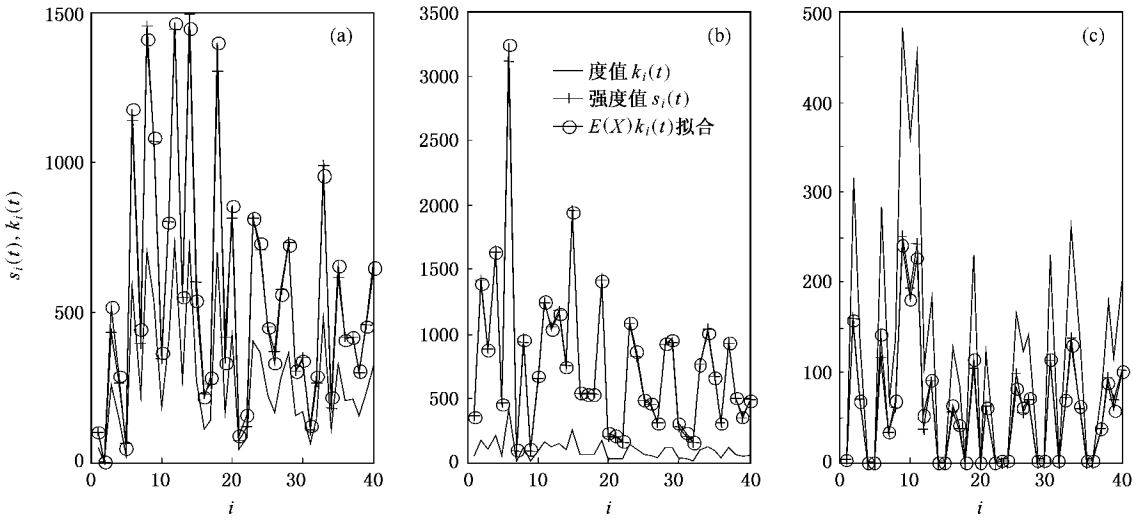


图1 情形1时,权重网络的强度与度的关系 (a)边权重服从指数分布,参数 $\nu = 0.5$ (b)边权重服从正态分布,均值为 $\mu = 8.0$,均方差 $\sigma = 2.0$ (c)边权重服从泊松分布,指数为 $\gamma = 0.5$.演化时间步为 $t = 5000$.在本图中,取节点编号为前40的节点进行对比,按网络规模加速的参数 $\theta = 0.3$.本文以后各图,如果不加具体说明(a)(b)(c)边权重概率分布分别服从指数分布、正态分布与泊松分布)

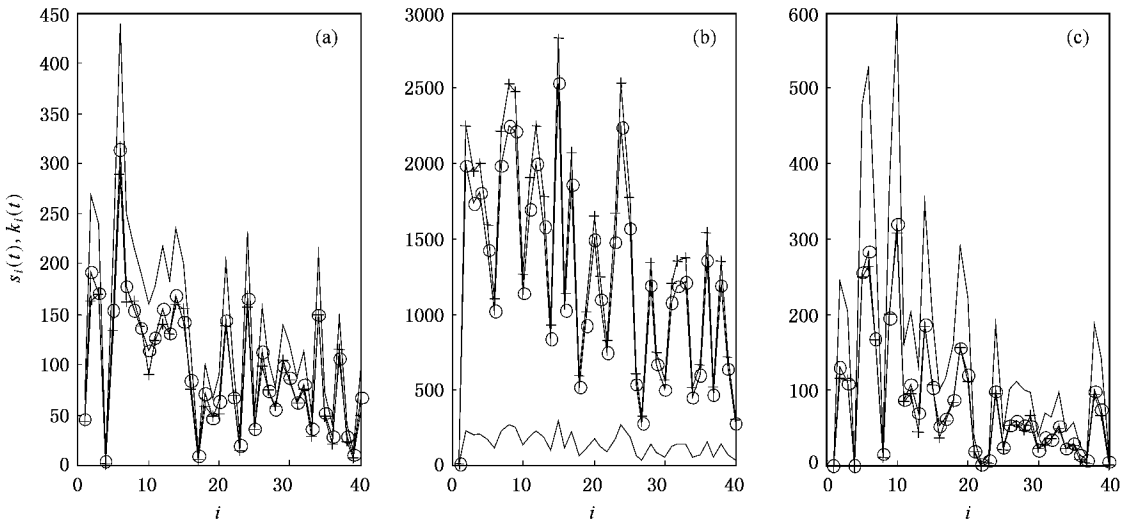


图2 情形2时,权重网络的强度与度的关系(图中圈号线是 $\sqrt{1 + \frac{\alpha n}{2m} E(Y)} k_i(t)$ 的拟合图线)

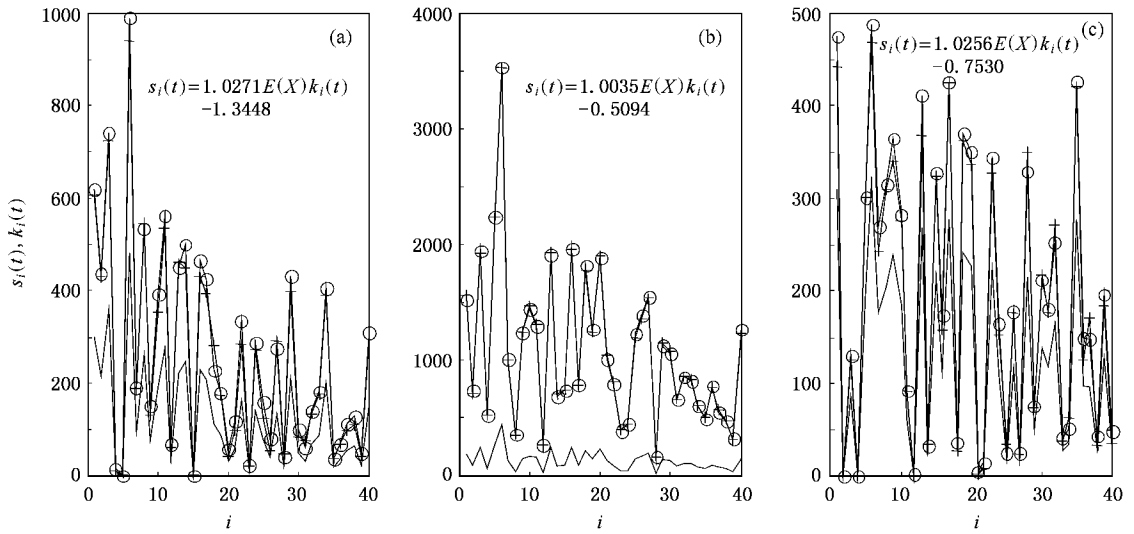


图3 考虑两种加速情况下的度分布与强度分布的关系(图中的强度与度之间的三个拟合公式分别为 $s_i(t) = 1.0271 \times E(X)k_i(t) - 1.3448$, $s_i(t) = 1.0035 \times E(X)k_i(t) - 0.5094$ 和 $s_i(t) = 1.0256 \times E(X)k_i(t) - 0.7530$)

对于情形1和情形2的权重网络,当边权重服从不同的概率分布时,其强度与度分别满足(6)式和(16)式,其拟合图形如图1和图2所示,情形3的权重网络的强度与度关系拟合如图3所示.拟合的平均相对误差见表1.由这三个图及表1可以看出,无论是权重网络按网络规模加速连接,还是按演化周期加速连接,或者两者兼而有之,每个节点的强度总是它的度与概率分布均值乘积的常数倍,只是这个常数倍的数值有所不同而已.因此,权重网络的强度分布与度分布具有相同的分布规律.

表1 不同情形下度分布与强度分布关系拟合的平均相对误差

概率分布	情形1	情形2	情形3
指数分布/%	1.77	5.83	0.73
正态分布/%	0.49	6.05	0.21
泊松分布/%	2.00	6.08	0.93

另一方面,比较这三种情形下的常数倍的数值,情形1的常数为 $C_1 = 1$,而情形2的常数当 $\alpha = 0.3$, $m = n = 5$ 时,其值为 $C_2 = \sqrt{1 + \frac{\alpha n}{2m}} = 1.0724$;而情形3在取与情形1和2相同的参数时,由图3可知其拟合的平均值为 $C_3 = 10187$,从而这三者之间的关系为 $C_1 < C_3 < C_2$.由这个关系式可得,虽然我们难以求得情形3时权重网络的节点强度与度关系的解析表达式,但这两者的关系仍满足强度与度和概率分布均值乘积成正比这个规律,且该常数的取值范围也容易确定.由于此取值范围较小,使得演化网

络按演化周期时,对网络的拓扑结构的改变不是很明显,这也是研究者们没有注意到此种加速模式的原因之一.

由以上的分析可知,不管是哪种加速演化情形,权重网络的度分布与强度分布在相同情形下均服从幂律分布,且具有相同的幂律指数.情形1的权重网络模型,边权重概率分布服从正态分布时,权重网络的强度分布如图4所示,而在不同权重定义下的度分布如图5所示.由这两个图形可以看出,度分布与强度分布均服从幂律分布,且具有相同的幂律指数,这与理论分析是完全一致的.

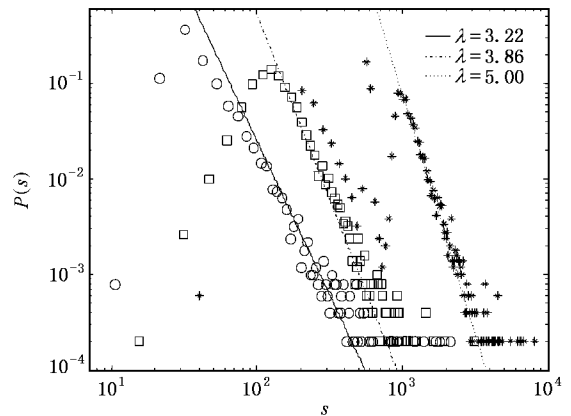


图4 情形1时,权重网络的强度分布(以边权重服从正态分布为例,均值为 $\mu = 8.0$, 均方差 $\sigma = 2.0$)

对于情形2时的权重网络模型,其度分布与强度分布(以泊松分布为例)如图6和图7所示.由这

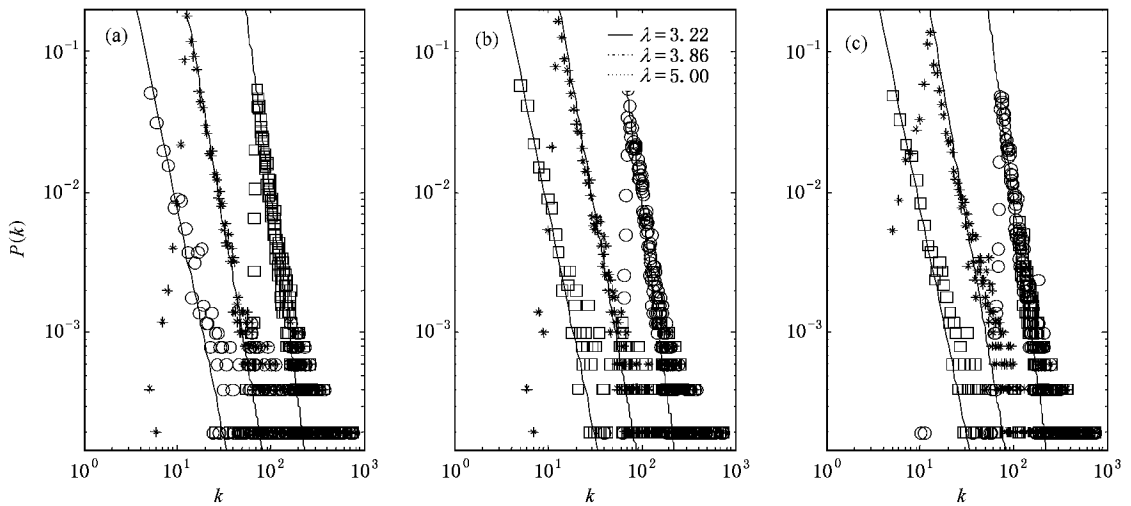


图 5 不同概率分布下的权重网络的度分布(图中按网络规模加速的参数 θ 分别为 0.1 0.3 0.5, 对应幂律分布的指数由 (9) 式分别为 3.22 3.86 5.00)

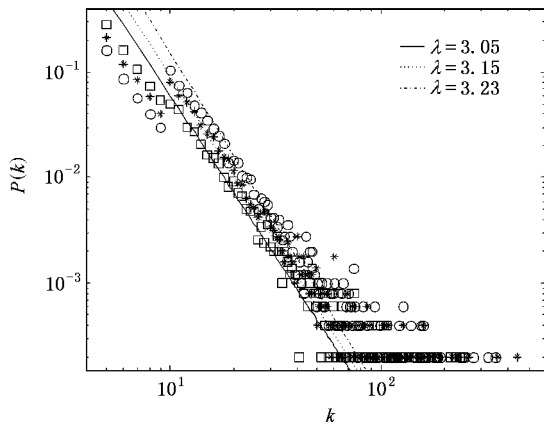


图 6 情形 2 时 权重网络的度分布(以泊松分布为例,图中按演化周期加速时的参数 α 的取值为 0.1 0.3 0.5, 对应的幂律指数分别为 3.05 3.15 3.22)

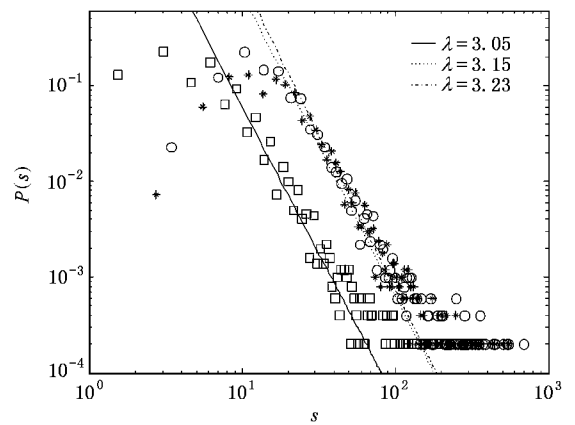


图 7 情形 2 时 权重网络的强度分布(以泊松分布为例)

两个图形可以看出,当 α 的取值变大时,权重网络的幂律指数的变化不是很大.这说明,虽然网络中存在一定比例的异常节点,它们连接边的方式不是按“度择优连接”或者“强度择优连接”规律进行连接新边的,但只要在网络演化过程中存在择优连接和增长性,网络的度分布或者强度分布仍服从幂律分布.

从以上数值仿真结果可以看出:

1) 不管权重网络的边权重服从哪种概率分布,只要其均值存在,则权重网络的节点强度与度和概率分布的均值成正比.

2) 当权重网络满足加速连接特征时,无论是按网络规模加速连接,还是按演化周期加速连接,只要

在演化过程中满足度择优连接或者强度择优连接,权重网络的度分布与强度均服从幂律分布,且具有相同的幂律指数.但是,由于按网络规模加速连接时,网络规模的增加会使得网络的边数迅速增加,使得网络的连接越来越集中到少数节点中,从而网络的幂律指数也迅速变大.当权重网络按演化周期加速连接时,网络的幂律指数变化较小.

3) 本文提到的两种加速连接方式,即考虑按网络规模加速和考虑按演化周期加速,与权重网络的节点强度和度的解析表达式密切相关.

5. 结 论

本文采用动态形成权重网络的方法,讨论了权

重网络的边权重在不同的概率分布下,演化过程中网络新增的边具有加速连接情形下权重网络的拓扑特性.主要考虑在两种加速连接,即按网络规模加速连接和按演化周期加速连接,网络节点的强度与度之间的关系,给出了节点强度与度的解析表达式,证明了权重网络的度分布与强度分布均服从幂律分布,且具有相同的幂律指数.

理论分析与数值仿真结果表明:网络节点的强

度和度与边权重的概率分布的均值乘积成正比.对于网络的边服从某一概率分布时,不管该概率分布的具体形式如何,也不论在权重网络的演化过程中考虑边加速连接选择哪种加速连接模式,只要权重演化网络满足一定的择优连接性,那么该演化网络的度分布服从幂律分布.并且,权重网络的强度分布与度分布在相同的加速参数下具有相同的幂律指数,而与具体的边权重概率分布无关.

- [1] Watts D J , Strogatz S H 1998 *Nature* **393** 440
- [2] Barabási A L , Albert R 1999 *Science* **286** 509
- [3] Albert R , Barabási A L 2002 *Rev. Mod. Phys.* **74** 47
- [4] Newman M E J 2003 *SIAM Rev.* **45** 167
- [5] He Y , Zhang P P , Xu T , Jiang Y M , He D R 2004 *Acta Phys. Sin.* **53** 1710 (in Chinese) [何 阅、张培培、许 田、姜玉梅、何大韧 2004 物理学报 **53** 1710]
- [6] Zhang P P , He Y , Zhou T , Su B B , Chang H , Zhou Y P , Wang B H , He D R 2006 *Acta Phys. Sin.* **55** 60 (in Chinese) [张培培、何 阅、周 涛、苏蓓蓓、常 慧、周月平、汪秉宏、何大韧 2006 物理学报 **55** 60]
- [7] Zhao W , He H S , Lin Z C , Yang K Q 2006 *Acta Phys. Sin.* **55** 3906 (in Chinese) [赵 伟、何红生、林中材、杨孔庆 2006 物理学报 **55** 3906]
- [8] Park K , Lai Y C , Ye N 2004 *Phys. Rev. E* **70** 026109
- [9] Barrat A , Barthélemy M , Vespignani A 2004 *Phys. Rev. E* **70** 066149
- [10] Masuda N , Miwa H , Konno N 2004 *Phys. Rev. E* **70** 036124
- [11] Caldarelli G , Capocci A , De Los Rois P , Munoz M A 2002 *Phys. Rev. Lett.* **89** 258702
- [12] Goh K I , Noh J D , Kahng B , Kim D 2005 *Phys. Rev. E* **72** 017102
- [13] Almaas E , Krapivsky P L , Redner S 2005 *Phys. Rev. E* **71** 036124
- [14] Bollobás B , Riordan O 2004 *Phys. Rev. E* **69** 036114
- [15] Pang Z F , Wang X F 2006 *Acta Phys. Sin.* **55** 4058 (in Chinese) [潘灶烽、汪小帆 2006 物理学报 **55** 4058]
- [16] Dorogovtsev S N , Mendes J F F 2002 *Handbook of Graphs and Networks : From the Genome to the Internet* , eds. Bornholdt S and Schuster H G (Wiley-VCH , Berlin) 318
- [17] Sen P 2004 *Phys. Rev. E* **69** 046107
- [18] Gagen M J , Mattick J S 2005 *Phys. Rev. E* **72** 016123
- [19] Li J , Wang B H , Jiang P Q , Zhuo T , Wang W X 2006 *Acta Phys. Sin.* **55** 4051 (in Chinese) [李 季、汪秉宏、蒋品群、周 涛、王文旭 2006 物理学报 **55** 4051]
- [20] Dorogovtsev S N , Mendes J F F 2001 *Phys. Rev. E* **63** 056125
- [21] Sarshar N , Roychowdhury V 2004 *Phys. Rev. E* **69** 026101
- [22] Barabási A L , Albert R , Jeong H 1999 *Physica A* **272** 173

A weighted network model with accelerated evolution^{*}

Qin Sen[†] Dai Guan-Zhong Wang Lin Fan Ming

(*College of Automation, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China*)

(Received 5 January 2007 ; revised manuscript received 1 February 2007)

Abstract

Using the dynamic method to evolve a weighted network, a new weighted network with accelerated attachment of newly added edges is proposed. At each time step, the number of newly added edges is proportional to the size of the network. The degree distribution of the network is discussed. The strength distribution is also obtained, and the analytical relation between the strength and the degrees of nodes is presented. The network shows scale-free property in both theoretical analysis and numerical simulations. In addition, regardless of degree preferential attachment or strength preferential attachment in the evolution process, as long as the weight of edge follows a certain probability distribution, the degree distribution always follows the power-law distribution and its exponent is not related with the attachment mechanism and the specific probability distribution.

Keywords : weighted network, accelerated evolution, power-law distribution, strength

PACC : 0590, 0250

^{*} Project supported by the National High Technology Research and Development Program of China (Grant No. 2005AA147030).

[†] Corresponding author. E-mail: qinsen0425@gmail.com