第24卷 第8期
2007年 8 月
科 技 进 步 与 对 策
Science & Technology Progress and Policy
Vol.24 No.8
Aug. 2007

企业网络的种群生态学模型

沈勋丰, 胡剑锋

(浙江理工大学, 浙江 杭州 310018)

摘 要: 企业网络与生态学中种群间的关系有着内在特征的相似性。从种群生态学角度来研究企业网络中企业之间的关系, 包括竞争关系、互利关系和捕食关系, 并以种群生态学模型为基础, 建立了企业网络间的模型。

关键词: 企业网络; 种群生态学; 生态学模型

中图分类号: F27 文献标识码: A 文章编号: 1001-7348(2007)08-0061-03

企业网络是相互联系的多个企业的集合体, 因此它与生物种群极为相似。种群内的个体不是孤立的, 而是通过复杂的种内关系组成的一个有机统一体。将种群与企业网络进行比较, 可以看出企业网络, 尤其是空间聚集型企业网络, 与种群有一定相似的特征。

与自然界的生态系统一样, 位于一定空间内的企业网络也是一个相互联系、相互制约的统一综合体。在这个复杂的系统中, 每一个企业都有其特定的位置, 并与上下游企业建立了密切的联系。当企业网络内部成员间的竞争与互利关系达到了平衡, 就能在一定时间内保持相当数量的相关企业的空间聚集, 并形成一定的产出规模。因此将种群生态学引入企业网络研究, 具有较强的适应性。

1 由单一产业组成企业网络的Logistic模型

种群生态学模型描述了在一定环境下, 由于自身复制能力的驱动, 以及有限资源和其它种群的限制, 该种群的增长过程, 从数学建模的角度出发, 这些方程表示变量随时间变化而变化的规律。类似地, 企业决定进入网络(以及进入率和企业网络的演化途径), 可以理解为某一类具有一定经济特征的种群的增加。下面讨论单一产业组成的企业网络的 Logistic 模型。

设 n 为单一产业企业网络 q 中的企业数量, 它随着时间 t 而变化。在一定的时间和空间条件下, 各种要素禀赋不变, K 为企业网络的最大规模, 即 $K=\lim\limits_{t\to\infty} n(t)$。同时, 设 r 为初试(或者最大的)增长率, 当网络利用各种资源的能力不随网络规模变化而变化时, 其中常数 $r>0$ 称为网络的内禀增长率, 反映了企业内在的特性。在种群生态学中, r 等于出生率和死亡率之差。而在企业网络中, 网络增长率可以是某一时间内的进入率和退出率之差。所以由单一产业组成企业网络的 Logistic 模型表示为:

$$\begin{cases} \dfrac{dn}{dt}=rn\left(1-\dfrac{n}{K}\right) \\ n(0)=n_0 \end{cases} \tag{1}$$

上式有两个平衡状态 $n=0$ 与 $n=K$, 由于当 $0<n<K$ 时, $dn/dt>0$; 当 $n>K$ 时, $dn/dt<0$, 所以平衡状态 $n=K$ 是全局稳定的; 而 $n=0$ 不稳定。事实上方程(1)是一个变量可分离的方程, 容易求得它满足初值 $n(0)=n_0$ 的解为:

$$n(t)=\frac{Kn_0}{(K-n_0)e^{-rt}+n_0} \tag{2}$$

由此, 也可直接看出当 $t\to+\infty$ 时, $n(t)\to K$。其解的曲线图如图 1 所示。

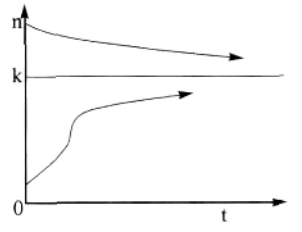

图 1

由图 1 可以明显地看出, 如果网络规模的初始值较小, 在短时间内, 由于资源供应相当充分, 密度制约的影响很小, 网络的增长基本上符合 Malthusian 指数增长规律。随着时间的增长, 网络规模逐渐增大, 密度制约的影响越来越大, 迫使网络规模的增长速度变慢, 逐渐达到饱和, 进入平衡状态 $n=K$。由解(2)可见, $n(t)$ 恢复到平衡态 $n=K$ 的快慢取决于内禀增长率 r 的大小, r 越大, 恢复所需的时间越短, $1/r$ 称为网络关于平衡状态 $n=K$ 的特征返回时

收稿日期: 2006-06-21
基金项目: 国家自然科学基金项目(70473080)
作者简介: 沈勋丰(1981-), 男, 浙江理工大学硕士研究生, 研究方向为战略管理。

间。

R 是一个网络的增长率，它取决于网络有机地利用各种资源的能力，其中主要包括核心竞争能力、网络学习能力和网络创新能力 3 个方面。

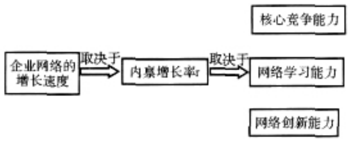

图 2　企业网络增长模型的决定因素

2　由多种产业组成企业网络的发展模型

大量的实证研究表明，网络中往往不止存在一个产业，更多时候表现为由不同产业组成的网络。与生态系统中的多种群关系类似，在网络中各个产业之间也存在着竞争、互利以及捕食 3 种关系，下面仅就网络中包含两种产业的情况进行分析。

2.1　竞争关系模型

假定网络中存在两个具有一定竞争性的产业 1 和产业 2。在 t 时刻，产业 1 和产业 2 中的企业数量分别是 n_1，n_2。由于该空间范围的资源是有限的，所以网络中每个产业的企业数量都存在最大值，K_1，K_2 分别是产业 1 和产业 2 所能承载的最大企业数量。r_1，r_2 分别是产业 1 和产业 2 的初始（或者最大的）增长率。因此竞争关系模型可以表示为：

$$\begin{cases}\dfrac{dn_1}{dt}=r_1 n_1\left(\dfrac{K_1-n_1-\alpha n_2}{K_1}\right)\\[2ex]\dfrac{dn_2}{dt}=r_2 n_2\left(\dfrac{K_2-n_2-\beta n_1}{K_2}\right)\end{cases}\tag{3}$$

其中，$\alpha>0$，$\beta>0$ 为竞争系数，α 表示产业 2 中每一个企业对产业 1 的竞争效应；反之，β 为产业 1 中的每一个企业对产业 2 的竞争效应。

将方程组(3)改写成等价形式

$$\begin{cases}dn_1/dt=r_1 n_1-r_1/K_1 n_1^2-r_1\alpha/K_1 n_1 n_2\\ dn_2/dt=r_2 n_2-r_2/K_2 n_2^2-r_2\beta/K_2 n_1 n_2\end{cases}$$

令

$e_{11}=r_1/K_1$，$e_{12}=r_1\alpha/K_1$，$e_{22}=r_2/K_2$，$e_{21}=r_2\beta/K_2$，$t=\tau/r_1$，$n_1=(r_1/e_{11})u_1$，$n_2=(r_2/e_{22})u_2$，代入上式，导出使参数简化的方程

$$\begin{cases}f_1=u_1(1-u_1-\varepsilon_1 u_2)\\ f_2=\lambda u_2(1-u_2-\varepsilon_2 u_1)\end{cases}\tag{4}$$

这里 u_1 和 u_2 是适合生态位容纳量的标准化网络密度，$\varepsilon_1=r_2e_{12}/r_1e_{22}=\alpha K_2/K_1$，$\varepsilon_2=r_1e_{21}/r_2e_{11}=\beta K_1/K_2$ 为标准化变量对应的产业间竞争系数。式(4)的参数值如图 3 所示。图形与参数 λ 的值无关。

图 3(a)把参数的取值范围划成 4 个区域：①$\varepsilon_1>1$，$0<\varepsilon_2<1$；②$0<\varepsilon_1<1$，$\varepsilon_2>1$；③$\varepsilon_1<1$，$\varepsilon_2<1$；④$\varepsilon_1>1$，$\varepsilon_2>1$。区域①，②，③，④分别对应图 3 中的(b)，(c)，(d)，(e)。

从图 3(b)，(c)可以看出，在条件 $\varepsilon_1>1$，$\varepsilon_2>1$，产业 2 屈服于产业 1，最终产业 2 被产业 1 排挤出去；条件 $\varepsilon_1<1$，$\varepsilon_2<1$ 下，产业 1 被产业 2 排挤出去。从图 3(d)可以看出，在条件 $\max\{\varepsilon_1,\varepsilon_2\}<1$ 下，两产业间的竞争强度各自低于产业内的竞争强度，这保证了两竞争产业长期共存。这种场合下，极端的情况是 $\varepsilon_1=\varepsilon_2=0$，即两产业相互不影响，不存在竞争。从图 3(e)可以看出，在条件 $\min\{\varepsilon_1,\varepsilon_2\}>1$ 下，对每一企业来说，产业间的竞争强于种内竞争（密度制约）。在这种情况下，稳定的共存是不可能的，一企业终究会把竞争对手排挤出去，到底谁把谁排斥掉，这取决于初试条件。

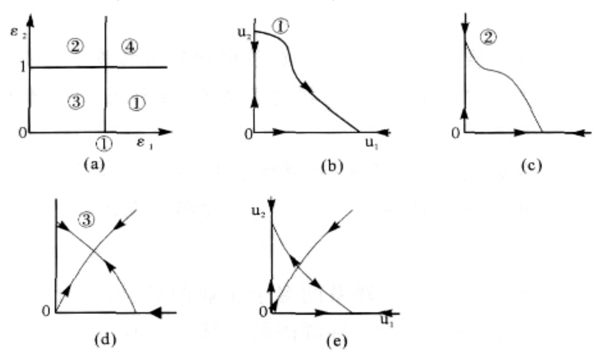

图 3

2.2　互利关系模型

在生态学中，互利是两物种之间的互惠关系，可增加双反的适合度。在企业网络中，这一互利共存现象是很普遍的。

假定网络中存在两个具有一定互利性的产业 1 和产业 2。在 t 时刻，产业 1 和 2 中的企业数量分别是 n_1，n_2。K_1，K_2 分别是产业 1 和 2 所能承载的最大企业数量，r_1，r_2 分别是产业 1 和 2 的初始（或者最大的）增长率。因为原始协作的两产业在没有合作伙伴时，仍然可以单独生存，故可设每一种群符合 Logistic 指数增长规律。因此互利关系模型可以表示为：

$$\begin{cases}\dfrac{dn_1}{dt}=r_1 n_1\left(\dfrac{K_1-n_1+\alpha n_2}{K_1}\right)\\[2ex]\dfrac{dn_2}{dt}=r_2 n_2\left(\dfrac{K_2-n_2+\beta n_1}{K_2}\right)\end{cases}\tag{5}$$

将(5)改写成等价形式：

$$\begin{cases}dn_1/dt=r_1 n_1-r_1/K_1 n_1^2+r_1\alpha/K_1 n_1 n_2\\ dn_2/dt=r_2 n_2-r_2/K_2 n_2^2+r_2\beta/K_2 n_1 n_2\end{cases}\tag{6}$$

令 $t=\tau/r_1$，$n_1=K_1u_1$，$n_2=K_2u_2$，$\lambda=n_2/n_1$，$p_1=\alpha K_2/K_1$，$p_2=\beta K_1/K_2$。代入上式，导出：

$$\begin{cases}f_1=u_1(1-u_1+p_1 u_2)\\ f_2=\lambda u_2(1-u_2+p_2 u_1)\end{cases}\tag{7}$$

不难求得式(7)有两个平衡点(0,0)和 $B(1+p_1)/(1-p_1p_2)$，$(1+p_2)/(1-p_1p_2)$，当 $p_1p_2<1$ 时，点 B 是正平衡点，此时，网络中两个产业互利共生，达到均衡状态。

例如，网络中产业 1 是主导产业，而产业 2 是配套产业，那么两类产业在规模、能力上往往具有相当差距，所以 p_1 很小而 p_2 较大。这意味着在主导一配套型产业网络中，

配套产业对主导产业的依赖程度大于主导产业对配套产业的依赖程度，网络中主导产业向配套产业采购的中间产品占配套产业总产量很大的份额，此外主导企业还可以从自身角度出发，为卫星企业提供多方面的支持。因此，主导产业对配套产业的促进作用比较大。而配套产业的企业数量较多，主导产业具有更多的选择空间，因此可以认为配套产业对主导产业的促进作用较小。此时，$p_1p_2<1$ 表示在主导-配套型网络中，成员间互利共生达到均衡状态的条件是 $p_1<1, p_2>1$。

对于 $p_1p_2<1$ 来说，另外一种情况是 $p_1<1, p_2<1$。这代表了网络中两个相关产业生产同类产品的情况。此时网络中两个产业彼此的贡献应相差不大，与主导-配套型网络相比，虽然这种网络也可以通过共享基础设施、专业化分工、知识溢出等机制，但是由于在产品市场上存在竞争，因此对彼此的促进力度较小。

3 捕食-被食关系模型

在生态系统中，种群间除了竞争关系和互利关系外，还存在捕食-被食关系。而在网络中同样可能存在这一现象，即并购-被并购关系。设被并购产业大小为连续变量 n_1，并购产业大小为连续变量 n_2。在不考虑并购产业存在时，n_1 按指数方式增长，即 $dn_1/dt=r_1n_1$；并购产业在无被并购者时，因所需资源缺乏而逐渐失去竞争力，即 $dn_2/dt=-r_2n_2$，其中 $r_1>0, r_2>0$ 分别是 n_1, n_2 的自然增长率。设这两产业在某一时期共处于同一空间，由于并购作用使得 n_1 的增长率随 n_2 的增加而下降，而 n_2 随着 n_1（资源）的增加而上升。于是模型中的参数 r_1 和 $-r_2$ 必须改写为 $r_1-\beta n_2$，$-r_2+\alpha n_1>0$，式中常数 $\beta>0$，是被并购者承受的并购压力（亦称被并购率）；常数 $\alpha>0$ 为并购产业的并购率。α 越大，并购产业增长越快；β 越大，被并购产业增长速度越缓慢。于是根据 Lotka-Volterra 得到所构建的模型：

$$\begin{cases} dn_1/dt=(r_1-\beta n_2)n_1 \\ dn_2/dt=(-r_2+\alpha n_1)n_2 \end{cases} \tag{8}$$

对于被并购产业来说，其零增长，即 $dn_1/dt=0$ 时，$r_1n_1=\beta n_1n_2$，或 $n_2=r_1/\beta$。因为 r_1 和 β 均是常数，故被并购产业增长是一条直线（图 4a）。当 $n_2<r_1/\beta$ 时，n_1 值增加；当 $n_2>r_1/\beta$ 时，n_1 值减少。

对于并购产业来说，其零增长，即 $dn_2/dt=0$ 时，$r_2n_2=\alpha n_1n_2$，或 $n_1=r_2/\alpha$。因为 r_2 和 α 均是常数，故并购产业增长是一条直线（图 4b）。当 $n_1>r_2/\alpha$ 时，n_2 值增加；当 $n_1<r_2/\alpha$ 时，n_2 值减少。

把并购产业和被并购产业的两个零增长线叠合在一起（图 4c），就能说明模型的行为：两个产业的密度按封闭环的轨道作周期性数量变动。在并购产业零增长线右面，并购产业密度增加，在左面则减少；在被并购产业增长线下面，被并购产业密度增加，在上面则减少。这样，并购产业和被并购产业的动态可分为 4 个阶段：①被并购产业增加，并购产业减少；②被并购产业和并购产业都增加；③被并购产业减少，并购产业继续增加；④被并购产业和并购产业都减少。也就是说，该模型可以预测被并购产业和并购产业动态，也即随着时间的改变，被并购产业密度逐渐增加，并购产业密度也随之增加，但在时间上总是落后一步；由于并购产业密度的上升，并购压力增加，必将减少被并购产业的数量；当被并购产业的密度减少，由于资源的短缺，并购产业数量也将减少；并购产业数量减少，并购压力降低，又会使被并购产业数量增加（图 4d），如此循环，周而复始。

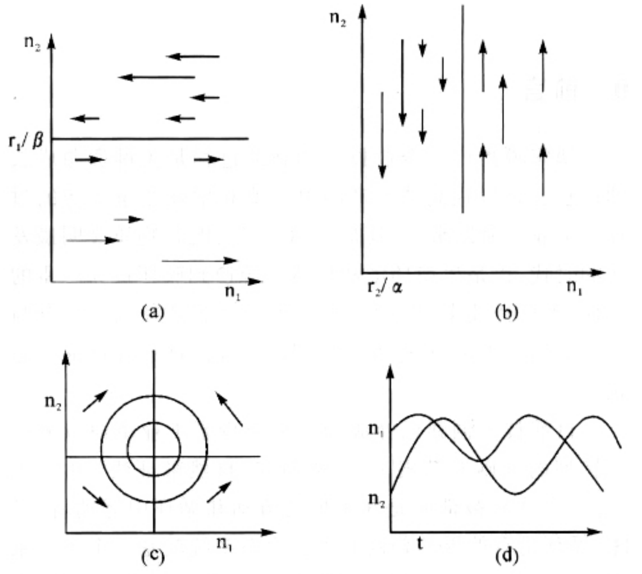

图 4

4 结束语

种群生态学在企业网络中的应用，能够使我们清楚地认识到网络成员间的各种动态关系及其变化，而这种动态关系及变化也能反映企业网络的发展及演进，也就是说，企业网络成员间关系处于不断动态变化的过程中。

参考文献：

[1] 林育真.生态学[M].北京:科学出版社，2004.

[2] 王顺庆.数学生态学稳定性理论与方法[M].北京:科学出版社，2004.

[3] 陈继祥.产业集群与复杂性[M].上海:上海财经大学出版社，2005.

（责任编辑：胡俊健）