

相关新产品的组合投入模型

万福才^{1,2}, 汪定伟², 陈培友³

(1. 沈阳大学 信息工程学院, 辽宁 沈阳 110044; 2. 东北大学 信息科学与工程学院, 辽宁 沈阳 110006

3. 黑龙江科技学院 经济贸易系, 黑龙江 哈尔滨, 150027)

摘要: 为提高新产品开发的成功率, 企业需要有效的决策方法, 以便开发新产品创意, 并把新产品成功地引入市场. 首先引入新产品最佳投入期和相关收益的概念, 在产品生命周期量化描述前提下, 提出一个非线性半无限规划的相关新产品组合投入模型. 并用改进遗传算法(GA)求解. 最后给出的数值例子及其在不同条件下的最好解说明, 相关新产品的组合投入模型具有较强的实用性.

关键词: 新产品投入计划; 半无限规划; 组合投入; 遗传算法; 电子商务

中图分类号: TP301

文献标识码: A

Correlative product combinatorial introduction model

WAN Fu-cai^{1,2}, WANG Ding-wei², CHEN Pei-you³

(1. College of Information Engineering, Shenyang University, Liaoning Shenyang 110044, China;

2. College of Information Science & Engineering, Northeastern University, Liaoning Shenyang 110006, China;

3. Department of Economy and Trade, Heilongjiang Institute of Science and Technology, Heilongjiang Harbin 150027, China)

Abstract: In order to ensure the successful development of new products, enterprises need to develop a process to determine how to find and develop idea of new products and how to successfully introduce them to the marketplace. To address this problem, the concept of optimal introduction period and correlative profit is presented. Based on the quantitative description of the product life cycle, a nonlinear semi-infinite programming model of new product introduction is proposed. The solution to the model is derived by using an improved genetic algorithm. A numerical example is given, and its optimal solutions under different conditions show that the proposed model is effective for firms.

Key words: new product introduction planning; semi-infinite programming; combinatorial introduction; genetic algorithms; E-commerce

1 引言(Introduction)

新产品开发是企业成长和繁荣的重要因素, Booz, Allen & Hamilton(1968)研究了超过 700 家企业发现: 新产品提供企业 30% 的收益^[1], 而随着网络经济和电子商务的不断发展, 新产品的收益可能超过企业总收益的 40%.

早期的研究主要针对一些特殊产品的开发和引入^[2], 但缺乏统计和有效分析, 后来的研究者开始研究大量成功的和不成功的例子^[3,4]. 研究发现, 新产品的拖期投入会造成至少 5.25% 的产品收益损失^[5], 并且会增加投入成本, 降低产品的市场份额及边际效益^[6,7]; 过早投入, 又会造成资金积压. 在电子商务环境下, 产品生命周期缩短, 透明度增加, 许多产品同时在一个网站销售, 就要考虑它们之间的相关性及相关收益. 比如彩电和 DVD, 电子图书和相应的阅读器等互补产品, 共同投入收益会相互促

进. 而另一些互为替代产品. 如 DVD 和 VCD、电子图书和印刷图书等, 共存市场时, 就会削弱彼此销售额. 所以, 制定新产品投入计划时, 产品的投入时间和相关性是企业需要考虑的关键因素.

文献[8]提出了一个多任务相关的产品开发和投入模型; 文献[9]提出一个 0-1 半无限规划模型, 以最小成本选择新产品投入来满足企业的目标收益; 最近, 汪定伟等^[10]提出一个带有资源约束的新产品投入计划模型, 来确定产品的投入时间及投放量. 本文把焦点放在带有最佳投入期的相关产品投入上, 建立了新产品组合投入模型, 并设计了针对该模型的算法.

2 新产品投入模型(New product introduction model)

2.1 产品收益曲线(Curves of product profit)

产品的生命周期分为 4 个阶段, 即投入期、增长

期、成熟期和衰退期. 对于产品 i , 其收益函数可表达为

$$f_i(t) = \alpha_i t^2 e^{-t/b_i}, \quad t \in [0, T], \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (1)$$

其中 α_i 和 b_i ($i = 1, 2, \dots, n$) 为待定参数, 如图 1 所示.

给定峰值 p_i 和达到峰值时间 r_i , 就可确定参数 α_i 和 b_i 如下:

$$\alpha_i = p_i e^2 / 4 b_i^2, \quad b_i = p_i / 2.$$

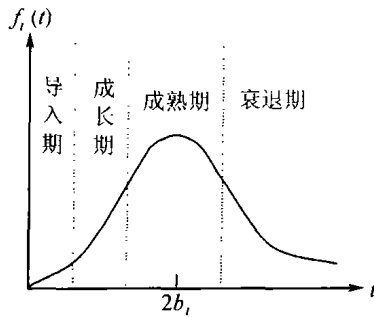


图 1 新产品的收益曲线
Fig. 1 Curves of new product profit

2.2 新产品组合投入模型 (New product combinatorial introduction model)

设有 n 种新产品待投入, 第 i 种产品 ($i = 1, 2, \dots, n$) 的投入成本为 c_i , 收益曲线 $f_i(t)$, 最佳投入期为 $[d_{i1}, d_{i2}]$, 如果产品 i 在此之前投入, 则会有单位时间的提前惩罚率 α (可以理解为投资贴现率), 在此之后投入, 则会有单位时间的拖期惩罚率 β , 产品之间的相关系数 (相关收益率) 为 r_{ij} ($|r_{ij}| < 1$). 当 $r_{ij} > 0$ 时, 表示产品 i, j 是互补产品; $r_{ij} = 0$ 时, 表示两个产品不相关; $r_{ij} < 0$ 时, 表示产品 i, j 是互为替代产品. 且有 $r_{ji} = r_{ij}$.

如果计划期为 T , 即 t 的变化区间为 $[1, T]$, 定义整型变量 x_i 为产品 i 的投入时间,

$$x_i = \begin{cases} N_i \in [1, T], & \text{产品 } i \text{ 在时刻 } N_i \text{ 投入,} \\ 0, & \text{产品 } i \text{ 不在计划期内投入,} \end{cases} \quad (2)$$

并定义 $X = [x_1, x_2, \dots, x_n]$ 及符号函数

$$\text{sgn}(x) = \begin{cases} 1, & x > 0, \\ 0, & x \leq 0. \end{cases} \quad (3)$$

考虑到拖期惩罚, 产品 i 的实际收益曲线为

$$f t_i(t) = [1 - \beta(x_i - d_{i2})^+] f_i(t - x_i). \quad (4)$$

其中 $(x - y)^+ = \text{sgn}(x - y)$.

令

$$Sr(x_i, x_j, t) = \text{sgn}(x_i) \text{sgn}(x_j) \text{sgn}(t - x_i) \text{sgn}(t - x_j), \quad (5)$$

则产品间相关收益为

$$f r(t, X) = \sum_{i < j \leq n} Sr(x_i, x_j, t) r_{ij} (f t_i(t) + f t_j(t)). \quad (6)$$

企业的目标收益曲线为 $S(t)$, 现有产品的收益曲线为 $p(t)$, 其中, $S(t) = s(1 + r)^t$ (s 为当年收益目标, r 为增长率).

因为开始投入时间定在现有产品的成熟期, 现有产品的收益曲线可表示为

$$p(t) = a \exp(-t^2/2b^2)/b\sqrt{2\pi}.$$

如果用 p 表示现有产品当年利润额, q 表示 T 年内总利润额的预测值, 很容易得出

$$a = 2q, \quad b = 2q/p\sqrt{2\pi}.$$

令 $g(t) = S(t) - p(t)$, 并考虑到提前惩罚, 则组合投入模型为

$$\min \sum_{i=1}^n \text{sgn}(x_i) [1 + \alpha(d_{i1} - x_i)^+] c_i \quad (7)$$

$$\text{s.t.} \sum_{i=1}^n \text{sgn}(x_i) f t_i(t) + f r(t, X) \geq g(t), \quad \forall t \in [1, T], \quad (8)$$

$$x_i \text{ 为 } 0 \text{ 或 } [1, T] \text{ 间的整数, } i = 1, 2, \dots, n. \quad (9)$$

式(7)~(9)是一个非线性的半无限规划模型. 当 t 在区间 $[1, T]$ 中取无限个值时, 式(8)有无限个约束. Fang 和 Wu 提出的非精确法提供了一条处理无限约束的途径^[11]. 文献[10]介绍了将免疫遗传算法解非线性半无限规划的方法.

3 遗传算子定义 (Defining of genetic operator)

3.1 编码方法 (Coding)

本问题中编码方法采用投入时间向量作为基因表达方式, 即用 $X = [x_1, x_2, \dots, x_n]$ 代表一个染色体. 其中, x_i 由公式(2)定义. 并且 x_i 允许重复. 当采用常用的两点交叉和换位变异时, 编码的合法性能保持. 但是, 可行性却不易达到, 这时可采用惩罚函数来限制非法染色体遗传到下一代的机会.

3.2 适值函数 (Fitness function)

采用动态标定方法:

设 $F_{\max}$ 为本代染色体中目标函数的最大值, 将目标函数转化为

$$z_{\max} = \max (F_{\max} - \sum_{i=1}^n \text{sgn}(x_i) [1 + \alpha(d_{i1} - x_i)^+] c_i).$$

为满足约束, 取罚函数

$$h(X) = \min_{t \in [0, T]} (\sum_{i=1}^n \text{sgn}(x_i) f t_i(t) + f r(t, X) - g(t)),$$

则适值函数为

$$F(X) = \{z_{\max} + Mh(X), 0\}. \quad (10)$$

其中: M 为一个随遗传代数变化的参数, 迭代开始时

M 较小,即对不可行解的惩罚较小,可以保证染色体的多样性;随着遗传代数的增加, M 逐渐增大,即对不可行解的惩罚加大,保证算法向最优解方向收敛。

3.3 选择算子(Selection operator)

算法采用最常用的正比选择策略^[1]。设个体 j 的选择概率为 $Pr(j)$, 则有

$$Pr(j) = F(X^j) / \text{sum}, j = 1, 2, \dots, NP. \quad (11)$$

其中: NP 为种群规模, sum 为种群中所有个体的适应值的和。

3.4 最优选择与终止准则(Optimal and termination criterion)

保存历史最好解,指定最大代数作停止准则。即选一个大的正整数 NG 为最大的代数,若迭代指标 k 大于 NG , 则停止迭代并输出历史最好解作为最终的结果。

3.5 交叉操作(Crossover operator)

当遗传过程进入局部最优时,群体中将有很多完全相同的串,这些串之间进行交换操作时,不会产生任何新的模式,从而使操作效率降低。当参与交换的两个串 s_i, s_j 的海明距离 $H(s_i, s_j)$ 小于一个小的整数 m 时,说明参与交换两个串是近亲,这时为了避免近亲繁殖,可以考虑采用一种近亲回避交换策略^[12]。在被选中的两个父辈串进行交换之前,判别它们是否为近亲,如果不是,则进行正常的交换;否则将其中的一个串替换掉,这样可以提高操作效率,更利于保证后代的多样性。

3.6 变异操作(Mutation operator)

采用换位变异和位置变异结合的方法。即当相应位置的两个基因不同时,将它们互换;否则,把相应位置的基因变成 $[0, T]$ 之间的其他整数,即改变产品的投入时间。

4 算法结构(Algorithms process)

算法步骤如下:

Step 1 设置终止代数 NG 、种群规模 NP 、交叉概率 p_c 和变异概率 p_m (这里设 $p_c + p_m < 1$); 置 $k = 0$; 随机生成初始种群 $POP(0) = \{X^1, X^2, \dots, X^m\}$; 设置初始历史最好解 $X^{(*)}$, 及初始历史最优目标值 $F(*) = 0$ 。

Step 2 $k = k + 1$; 如果 $k > NG$, 则输出最优解 $X^{(*)}$, 及最优目标值 $z_{\min} = \min \sum_{i=1}^n \text{sgn}(x_i) [1 + \alpha(d_{i2} - x_i)^+] c_i$; 否则, 对每个个体解码, 计算罚函数值 $h(X^j)$ 及适应值 $F(X^j)$, 并将个体适应值按由大到小顺序排列; 检查 X^1 是否满足约束, 如果满足约束(即罚函数等于零)且 $F(X^1) < F(*)$, 令 $F(*)$

$$= F(X^1), X^{(*)} = X^1;$$

Step 3 用正比选择法产生下一代种群 $POP(k)$; 并采用前面提到的近亲回避交换策略及变异策略分别以概率 p_c 和 p_m 进行交叉和变异操作。转 Step 2。

其中 Step 2 中求罚函数 $h(X^j)$ 用直线搜索, 其搜索区间的确定及最小值的求法如下:

可以证明, 约束(8)左边的局优点可在由被选中投入产品的投入时间 x_i , 峰值时间 $x_i + 2b_i$, 及最迟投入时间 d_{i2} 组成的若干小区间中用线性搜索算法找到。在每个小区间上求出

$$\phi(t) = \sum_{i=1}^n \text{sgn}(x_i) f t_i(t) + f r(t, X) - g(t)$$

的极小值, 再比较这些极小点求出 $h(X^j)$ 全局最小值。

5 仿真实例(Simulation example)

设 15 个待投入产品, 考虑在未来 12 个季度(3 年)中投入。如果通过市场预测得到如表 1 的结果, 为计算方便, 所有数值均不计单位。

现有产品投入当季度的利润额为 180, T 时间内总利润额的预测值为 1000; 企业当季度的目标收益为 180, 季度增长率为 0.1。

表 1 待投入新产品的参数

Table 1 Parameters of new products to be introduced

序号	峰值 ($4\alpha_i b_i^2 / e^{-2}$)	峰值时间 ($2b_i$)	最早投入 时间(d_{i1})	最迟投入 时间(d_{i2})	投入 成本(c_i)
1	185	2.6	1	5	80.0
2	150	5.0	3	6	180.0
3	175	2.0	2	8	147.5
4	156	1.5	1	4	85.0
5	105	2.5	6	9	40.0
6	120	1.3	4	8	50.0
7	180	2.6	3	7	70.5
8	195	1.5	8	12	50.0
9	85	4.4	2	8	92.0
10	50	2.2	4	9	45.0
11	125	1.8	1	6	60.0
12	165	2.3	2	6	88.0
13	155	1.5	4	9	76.6
14	175	1.1	5	10	65.0
15	185	2.5	3	8	100.0

去掉全是 0 的行和列, 简化的产品相关系数矩阵如表 2 所示, 其中第一列和第一行表示产品号。

设提前惩罚系数 $\alpha = 0.1$, 拖期惩罚系数 $\beta = 0.01$ 。

给定 $NG = 100, p_c = 0.3, p_m = 0.05$ 及种群规模 NP 分别为 40, 50, 60, 80; 并考虑以下 3 种情况运用本文

设计的遗传算法多次求解,得到如表3的最好解。

首先,不考虑最佳投入期和产品相关系数,计算得到如表3结果1;

其次,考虑最佳投入期,不考虑相关系数,计算得到如表3结果2;

最后,考虑最佳投入期和相关系数,计算得到如表3结果3。

表2 产品相关系数阵

Table 2 Matrix of products relativity

产品序号	1	4	5	9	15
1	0	0.2	-0.15	-0.1	0.2
4	0.2	0	-0.1	-0.12	0.2
5	-0.15	-0.1	0	0.2	-0.1
9	-0.1	-0.12	0.2	0	-0.1
15	0.2	0.2	-0.1	-0.1	0

由几种情况下的结果可知(见表3):结果1中的产品1,5,6,7,8,9,10,14都不在最佳投入期内,所以考虑最佳投入期后进行了相应的调整如结果2;结果2中大多数产品都在最佳投入期内投入,但导致投入成本增加;在进一步考虑了产品相关系数后,产品4,9因为和其它几个产品是互为替代产品,所以被淘汰。而且由于1,4,15是互补产品,收益相互促进,使得在满足企业收益目标的前提下,总的投入成本降低(见结果3)。由此可见,产品的最佳投入期和相关系数都是新产品投入需要考虑的重要因素。

表3 计算结果比较

Table 3 Result comparison

计算结果	最 好 解	最优目标值
结果1	7 0 0 0 4 11 2 10 1 0 5 0 0 1 8	607.50
结果2	1 0 0 0 9 1 7 10 4 0 3 5 0 0 7	645.50
结果3	5 0 0 1 0 11 7 10 0 0 1 8 0 0 3	583.50

6 结论(Conclusion)

根据大量仿真实验获得如下几点结论:

1) 提出一种考虑产品相关收益及最佳投入期的新产品投入计划方法,该方法尤其在当今产品生命周期不断缩短,产品相关性日益加强的市场经济条件下有较强的实用性;

2) 针对该模型设计的遗传算法能够处理大规模非线性半无限规划,但仍不能保证解的最优性;

3) 本文没有给出相关系数的评估方法,有待进一步研究;

4) 本文算法的有效性需要进一步改进。

参考文献(References):

- [1] BOOZ, ALLEN & HAMILTON Inc. *Management of New Products* [M]. New York: Booz & Hamilton Inc., 1968.
- [2] MORISON E. *Men, Machines and Modern Times* [M]. Cambridge, MA: MIT Press, 1966: 17-24.
- [3] ZIRGER B J, MAIDIQUE M A. A model of product development: an empirical test [J]. *Management Science*, 1990, 36(7): 867-883.
- [4] MANOHAR A A, KALWANI U, KOVENOCK D. Selecting product development projects: pioneering versus incremental innovation strategies [J]. *Management Science*, 1993, 39(3): 255-274.
- [5] HENDRICKS K B, SINGHAL V. Delays in new product introductions and the market value of the firm: the consequences of being late to the market [J]. *Management Science*, 1997, 43(4): 422-436.
- [6] NEVENS T M, SUMME G L, UTTAL B. Commercializing technology: what the best companies do [J]. *Harvard Business Review*, 1990, 68(3): 154-163.
- [7] DATAR S, JORDAN C, KEKERE S, et al. New product development structures and time-to-market [J]. *Management Science*, 1997, 43(4): 452-464.
- [8] GLENNAN T K, MARSCHAK T, SUMMERS R. Issues in the choice of development policies [C]// Marschak T, GLENNAN T K, SUMMERS R. *Strategy for R&D, a Rand Corporation Research Study*. New York: Springer-Verlag, 1967: 13-48.
- [9] 万福才, 汪定伟. 基于0-1半无限规划的新产品开发计划方法[J]. *管理科学学报*, 2002, 5(4): 28-33.
(WAN Fucui, WANG Dingwei. 0-1 semi-infinite programming approach for new product development planning [J]. *Management Sciences in China*, 2002, 5(4): 28-33.)
- [10] 汪定伟, 于海斌. 免疫遗传算法及在新产品投入计划中的应用[J]. *控制理论与应用*, 2002, 19(5): 725-730.
(WANG Dingwei, YU Haibin. An immune-genetic algorithm and its application to introduction planning of new products [J]. *Control Theory & Applications*, 2002, 19(5): 725-730.)
- [11] FANG S C, WU S Y. An inexact approach to solving linear semi-infinite programming problems [J]. *Optimization*, 1994, 28(8): 291-299.
- [12] 边润强, 陈增强, 袁著祉. 一种改进的遗传算法及其在系统辨识中的应用[J]. *控制与决策*, 2000, 15(5): 625-627.
(BIAN Runqiang, CHEN Zengqiang, YUAN Zhuzhi. Improved genetic algorithms and its application in system identification [J]. *Control and Decision*, 2000, 15(5): 625-627.)

作者简介:

万福才 (1967—), 男, 1989年毕业于东北师范大学获学士学位, 1996年毕业于东北大学获硕士学位, 现为沈阳大学副教授, 东北大学博士研究生, 研究方向: 系统建模与优化, 新产品投入等。
E-mail: wfcui@163.com;

汪定伟 (1948—), 男, 分别于华中科技大学和东北大学获硕士和博士学位, 东北大学教授, 博士生导师, 现为中国科学院沈阳自动化研究所客座研究员, 研究领域包括: 建模与优化, 软计算方法, 生产计划与调度方法等;

陈培友 (1967—), 男, 东北大学博士研究生, 黑龙江科技学院副教授, 研究方向为电子商务建模与优化, 信息管理与信息系统。
E-mail: chenpeiyou@163.net.