

文章编号: 1001-0920(2003)01-0073-04

## 一种选择制造业信息系统应用的决策模型

崔耀东<sup>1,2</sup>, 周儒荣<sup>1</sup>, 廖文和<sup>1</sup>

(1 南京航空航天大学 CAD/CAM 工程研究中心, 江苏 南京 210016;

2 广西师范大学 计算机科学系, 广西 桂林 541004)

**摘 要:** 给出一种选择制造业信息系统 (IS) 应用的决策模型。该模型基于系统的关联性原理, 即各种 IS 应用之间相互关联有机结合而产生协同效应, 使得总体功能大于各应用功能之和。利用层次分析法 (AHP) 对 IS 应用进行初始排序, 建立处理协同效应与资金分配的数学模型。通过模型求解确定应加以引进的 IS 应用集合, 并确定它们的实施顺序。给出一个分析实例来说明决策模型的使用方法。

**关键词:** 信息系统; 资源分配; 制造业; 协同效应; 决策模型

**中图分类号:** TP391

**文献标识码:** A

## Decision model for the selection of information system applications in the manufacturing industry

CUI Yao-dong<sup>1,2</sup>, ZHOU Ru-rong<sup>1</sup>, LIAO Wen-he<sup>1</sup>

(1 CAD/CAM Engineering Research Center, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China; 2 Department of Computer Science, Guangxi Normal University, Guilin 541004, China)

**Abstract:** A decision model for the selection of information system (IS) applications in the manufacturing industry is introduced. The model is based on the principle that the function of all the IS applications as an entity may be greater than the sum of the individual functions, because there exists synergy among the applications. AHP is used to get the initial priority order of the candidate applications. A mathematical model is constructed which considers both synergy and the resources constraints. The set of applications that should be introduced is decided by solving the model. The goal function of the model provides the order in which the introduced applications should be put into use. An example illustrates the approach.

**Key words:** Information systems; Resources allocation; Manufacturing industry; Synergy; Decision model

### 1 引 言

所谓制造业信息系统 (IS) 应用, 是指在制造业所属企业中应用的各种以计算机软件构成其主要应用基础的管理与工程技术, 如计算机辅助设计 (CAD)、计算机辅助工艺规程编制 (CAPP)、计算机辅助制造 (CAM)、物料需求计划 (MRP)、制造资源

计划 (MRP II)、企业资源计划 (ERP)、最优生产技术 (OPT) 等。在一个企业范围内运行的所有 IS 应用组成了企业的 IS 应用组合系统。

关联性是企业 IS 应用组合系统的重要特性之一。该性质指出, 企业 IS 应用组合系统内部各个要素 (IS 应用) 是互相关联地结合在一起的, 它们之间

收稿日期: 2001-10-30; 修回日期: 2001-12-03。

基金项目: 江苏省科技攻关项目 (G98017-3)。

作者简介: 崔耀东 (1957—), 男, 河南林州人, 教授, 博士生, 从事 CAD/CAM、计算机图形学的研究; 周儒荣 (1935—), 男, 福建长汀人, 教授, 博士生导师, 从事 CAD/CAM/CNC 等研究。

的关系不是一种简单的组合。正是由于系统要素间这种有机的相互关联关系,使得系统的整体功能可以大于各单个要素功能的总和,作者将这一现象称为协同效应。关联性原理要求在选择制造业 IS 应用时,不但要考虑各备选 IS 应用之间的协同效应,而且应考虑备选的 IS 应用与已实施的 IS 应用之间的协同效应。

人们对 IS 应用的选择方法做了大量讨论<sup>[1-4]</sup>,但考虑协同效应的文献却相对较少。文献[5]将企业划分为各个职能部门,如设计、制造、质量管理、仓储等,指出在估计 IS 应用的效益时,不但要对其主要应用部门加以估计,而且要估计其他部门受其影响所产生的效益(称为协同效益)。文献[6]考察一种产品的生产过程,研究由于 IS 应用之间在学习上存在协同效应,而使其实施顺序引起学习曲线的变化。文献[7]提出一种决策模型用于先进制造技术的选择,考虑了各备选技术之间的协同效应,并用协同效应系数来反映协同效应的大小。该文的处理方法存在以下问题:1)没有考虑备选技术与已实施技术之间的协同效应;2)采用协同效应权数(备选技术的协同效应权数等于 1 加它与其他所有备选技术之间的协同效应系数之和)调整技术的优先顺序,没有考虑因部分技术落选而造成协同效应权数的变化,而这种变化足以对最终选择结果产生影响。

本文提出的决策模型采用层次分析法(AHP)对备选的 IS 应用进行初步排序,根据 IS 应用之间数据的流向确定协同效应系数,建立处理 IS 应用之

间协同效应与资金分配的数学模型,通过模型求解确定应引进的 IS 应用集合,通过模型的目标函数分析确定被引进 IS 应用的实施顺序。最后用一个分析实例来说明决策方法。

## 2 选择 IS 应用的决策方法

本文所使用的符号定义如表 1 所示。

### 2.1 确定备选的 IS 应用集合

对企业生产经营活动的价值变化过程进行分析,有利于实现各环节价值增值活动的 IS 应用作为备选应用<sup>[7]</sup>;或根据企业的经营战略,选择有利于各具体目标实现的 IS 应用构成备选集合。

本文分析用例如下:备选 IS 应用包括 CAD, SM(库房管理),QC(质量控制),已实施的 IS 应用包括 CAM 和 CA PP,按 CAD, SM, QC, CAM, CA PP 的顺序编号为 1~ 5。引进各备选 IS 应用需要的资金分别为  $c_1 = 5$  万元,  $c_2 = 3$  万元,  $c_3 = 6$  万元;允许投入的资金  $C = 11$  万元。

### 2.2 确定评价指标及各 IS 应用的初始权数

实证研究表明,许多公司投资于先进制造技术(AM T)的动机是为了赢得竞争优势或应对竞争威胁<sup>[8,9]</sup>。IS 应用是 AM T 的组成部分之一,可从增强企业的竞争力出发构造评价指标体系。

企业可根据自身所处的环境和所提供的产品、生产运作组织方式等特点,将竞争的重点放在不同的方面。常见的竞争重点有成本、质量、时间和柔性<sup>[3]</sup>,称为竞争重点四要素,它们对企业的竞争地位都会产生重要的影响。本文采用的评价指标体系如

表 1 符号定义

符号	符号意义
$E$	评价指标权数矩阵,共有 $d$ 项评价指标, $E = [e_1, e_2, \dots, e_d]$ , $e_i = 1$ , $i = 1, \dots, d$
$m, n$	分别表示备选和已实施的 IS 应用项数。对 IS 应用进行编号,备选 IS 应用范围为 $1 \sim m$ , 已实施的 IS 应用范围为 $m + 1 \sim m + n$ 。
$A, B$	分别表示备选和已实施的 IS 应用编号的集合, $A = \{1, 2, \dots, m\}$ , $B = \{m + 1, m + 2, \dots, m + n\}$ 。
$P$	IS 应用对各评价指标的作用分值矩阵,其元素 $p_{ij}$ 表示 IS 应用 $i$ 对第 $j$ 项评价指标的作用分值。 $0 \leq p_{ij} \leq 5, 1 \leq i \leq m + n, 1 \leq j \leq d$ 。
$W$	IS 应用初始权数矩阵, $W = [w_1, w_2, \dots, w_{m+n}]$ , $w_i = 1$ , $i = 1, \dots, m+n$ 。
$c_i$	引进 IS 应用 $i$ 需要的资金, $i \in A$ 。
$C$	允许投入的总资金。
$S$	功能增强系数矩阵或协同效应系数矩阵,其元素 $s_{ij}$ 表示 IS 应用 $i$ (在 IS 应用 $j$ 支持下) 的功能增强系数, $1 \leq i \leq m + n, s_{ii} = 1$ ; 对于 $i, j \in B$ 且 $i \neq j, s_{ij} = 0$ 。
$X$	$X = [x_1, x_2, \dots, x_{m+n}]^T$ , 其元素 $x_i$ 取值为 1 表示引进 IS 应用 $i$ , 否则取值为 0; 对于 $i \in B, x_i = 0$ 。
$v_i$	IS 应用 $i$ 的协同效应权数, $v_i = \sum_{j=1}^{m+n} s_{ij} x_j = \sum_{j \in A} s_{ij} x_j + S_{i0}$ 。

表 2 评价 IS 应用的指标体系

竞争重点	评价指标	指 标 解 释
成本	低成本	
质量	高设计质量	卓越的使用性能、操作性能、耐久性能等,有时还包括良好的售后服务支持甚至财务性支持。
	恒定的质量	质量稳定性和一贯性,如用符合设计要求(尺寸等)的产品的百分比度量。
时间	快速交货	从收到订单到交货的时间要短,可用库存及有余地的生产能力来保证。
	按时交货	在顾客需要时交货,如用按时交货的百分比度量。
	新产品开发速度	从新产品方案产生到生产出新产品所需的全部时间。
柔性	顾客化产品与服务	适应每一顾客的特殊要求,经常不断地改变设计和生产运作方式的能力。
	产量柔性	根据市场需求量的变动,迅速增加或减少产量的柔性。

表 2 所示。

评价指标体系确定之后,便可采用 AHP 法确定指标的权数矩阵  $E$ ,进而确定 IS 应用的初始权数矩阵  $W$ 。一些研究者认为,对 AMT 进行综合评价时,AHP 是一种适当的综合工具。对于采用 AHP 法确定权数的优点和具体操作方法已有专门的论述<sup>[7,10]</sup>,本文不再详细介绍。

当所考察的 IS 应用项数较多,即  $m + n$  的值较大时,采用 AHP 法确定权数要求在 IS 应用之间进行的相对重要性比较次数过多,可以考虑采用 AHP 法与分值法相结合来确定初始权数。即用 AHP 法确定指标权数矩阵  $E$ ,用打分法确定 IS 应用对各评价指标的作用分值矩阵  $P$ ,然后令  $W = EP^T$ ,并对  $W$  施行正规化操作,使  $\sum_{i=1}^{m+n} w_i = 1$ 。初始权数的大小决定了各备选 IS 应用的初步排序。设 IS 应用的初始权数矩阵  $W = [0.15, 0.2, 0.25, 0.2, 0.2]$ ,则引进的优先顺序为 QC, SM, CAD。

### 2.3 确定 IS 应用之间的协同效应系数

针对 IS 应用之间存在相互关联的特性,在选择制造业 IS 应用时,不但要考虑各备选 IS 应用之间的协同效应,而且要考虑备选 IS 应用与已实施的 IS 应用之间的协同效应。例如 IS 应用 CAD 和 CAPP,在两个分系统独立应用时,可在 CAD 中建立产品模型,在使用 CAPP 编制工艺规程时,还要重新输入产品的特征。但如果通过数据接口,从 CAD 中提取全部或部分工艺特征,便可节省操作时间,并避免因再次输入所产生的差错。

用功能增强系数  $s_{ij}$  反映 IS 应用  $i$  在应用  $j$  支持下的功能增强额度,比较基准是 IS 应用  $i$  的原有功能。在用 AHP 法进行 IS 应用相对重要性比较时,考虑的正是原有功能。例如由于 IS 应用 CAD 的存在,IS 应用 CAPP 可直接从 CAD 中提取所需产品特征

数据,用系数 0.3 反映这种协同效应,意味着由于 CAD 的存在,CAPP 所能发挥的功能值与其原有功能值相比增加了 30%。

为确定某备选 IS 应用的各功能增强系数,可提出如下两个问题:

- 1) 是否可通过其他 IS 应用获得高质量的输入数据?
- 2) 是否可直接调用其他 IS 应用提高功能?

对这两个问题的回答有助于发现存在的协同效应。例如前述 CAPP 从 CAD 中获取产品特征数据,属于对第 1 个问题的回答。而 CAD 在进行冲裁模具设计时,需要确定毛坯在条料上的排列方式,可通过调用 IS 应用“计算机排样”,使材料利用率得到提高,属于对第 2 个问题的回答。

已实施 IS 应用的原有功能是指现在的功能,因为在引进决策时对其功能发挥情况已较清楚,它们之间的协同效应已在现在功能中得到反映,故对于  $i, j \in B$  且  $i \neq j, s_{ij} = 0$ 。IS 应用  $i$  和  $j$  之间的功能增强系数  $s_{ij}$  和  $s_{ji}$  是这两个 IS 应用之间的协同效应系数。

对于分析实例,假定协同效应系数如表 3 所示,表中元素与协同效应系数矩阵  $S$  的元素相对应。例如  $s_{41} = 0.3$ ,指 CAM 可直接利用 CAD 中建立的零件模型编制数控加工程序,从而不需要再次建模,引起功能增强 30%。

表 3 协同效应系数

	CAD	SM	QC	CAM	CAPP
CAD	1	0	0	0.1	0.1
SM	0.1	1	0.1	0	0
QC	0.2	0	1	0.1	0
CAM	0.3	0	0	1	0
CAPP	0.3	0	0	0	1

## 2.4 选定要引进的 IS 应用

选择 IS 应用的数学模型为

$$\begin{cases} \max z = \sum_{i=1}^{m+n} W_i \left( \sum_{j=1}^{m+n} S_{ij} X_j \right) x_i = \sum_{i=1}^{m+n} W_i v_i x_i \\ \text{s.t.} \sum_{i=1}^m c_i x_i \leq C \\ x_i, x_j = 0 \text{ or } 1, \quad i, j \in A \\ x_i, x_j = 1, \quad i, j \in B \end{cases} \quad (1)$$

在目标函数中,采用协同效应权数对 IS 应用的初始权数进行调整。由模型(1)可知,如果不存在资金约束,则所有备选 IS 应用可全部引进;否则,应通过求解模型确定要引进的 IS 应用。当备选 IS 应用项数不很多时,可用枚举法求解。对于本文的分析实例,通过简单的分析知应引进 2 项 IS 应用,  $W = [0.15, 0.2, 0.25, 0.2, 0.2]$ ,  $v_i$  可根据表 3 数据和表 1 给出的公式计算。令  $X$  分别取  $(1, 1, 0, 1, 1)$ ,  $(1, 0, 1, 1, 1)$  和  $(0, 1, 1, 1, 1)$ , 得目标函数分别为 0.92, 1.07 和 0.93, 应引进 CAD 和 QC。

## 2.5 确定被引进各 IS 应用的实施顺序

对于已确定引进的 IS 应用,可按使企业竞争力增加值最大的原则选择首先要实施的 IS 应用。如果决定实施 IS 应用  $k$ , 则令  $x_k = 1$ , 集合  $A$  中其他 IS 应用对应的决策变量为 0。实施 IS 应用  $k$  后,所能达到的竞争力可用模型(1)的目标函数推得

$$z_k = \sum_{i=1}^{m+n} W_i v_i x_i = \sum_{i \in A} W_i v_i x_i + \sum_{i \in B} W_i v_i x_i = W_k v_k + \sum_{i \in B} W_i v_i \quad (2)$$

$$v_k = \sum_{j \in A} S_{kj} X_j + \sum_{j \in B} S_{kj} X_j = S_{kk} + \sum_{j \in B} S_{kj} = 1 + \sum_{j \in B} S_{kj} \quad (3)$$

$$v_i = \sum_{j \in A} S_{ij} X_j + \sum_{j \in B} S_{ij} X_j = S_{ik} + \sum_{j \in B} S_{ij} \quad (4)$$

$$z_k = W_k \left( 1 + \sum_{j \in B} S_{kj} \right) + \sum_{i \in B} W_i \left( S_{ik} + \sum_{j \in B} S_{ij} \right) \quad (5)$$

对于本文分析实例,按式(2)~(5)计算被引进的 IS 应用引起竞争力增加值,得  $z_1 = 0.7$ ,  $z_3 = 0.68$ , 从而首先应实施 IS 应用 CAD。

确定了首先应实施的 IS 应用后,将其视为已实施的 IS 应用,从集合  $B$  中转移到集合  $A$ , 便可重新利用式(2)~(5)确定引进的 IS 应用中哪一个该实施。对于本文分析实例,由于只有 2 个待实施的 IS 应用,故下一个应实施 QC。

## 3 结 语

本文所述方法综合使用了多种定量分析技术,具有如下特性:1)从竞争重点四要素出发构造指标体系,对影响企业竞争力的因素反映较全面;2)全面考虑备选 IS 应用与已实施 IS 应用之间的协同效应,符合系统工程的观点;3)所建立的选择 IS 应用决策模型以实现最大竞争力为目标,综合考虑协同效应与资金约束,通过该模型的求解可以确定应引进的 IS 应用集合;4)以竞争力增长值最大为目标,确定被引进的 IS 应用实施顺序,尽量体现被引进 IS 应用的作用。

本文方法考虑了决策影响因素,可以提高 IS 应用选择决策的质量,为决策者提供了系统性的指导。

## 参考文献(References):

- [1] Klein G, Beck P O. A decision aid for selecting among information system alternatives[J]. *MIS Quart*, 1987, 11(2): 177-186
- [2] Santhanam R, Kyparisis J. A multiple criteria decision model for information system project selection[J]. *Comput Oper Res*, 1995, 22(8): 807-818
- [3] Ravi K, Murugan A, Magid I. Selecting IT applications in manufacturing: A KBS approach[J]. *Omega*, 1999, 27: 605-616
- [4] James J J, Gary K. Information system project-selection criteria variations within strategic classes [J]. *IEEE Trans Eng Manag*, 1999, 46(2): 171-176
- [5] Sev V N, Grier C IL. A methodology to select optimal system components for computer integrated manufacturing by evaluating synergy[J]. *Comput Integ Manuf Syst*, 1998, 11(3): 217-228
- [6] Meredith J, Camm J. Modeling synergy and learning under multiple advanced manufacturing technologies [J]. *Decision Science*, 1989, 20(2): 258-271
- [7] Kuei C H, Lin C, Aheto J, et al. A strategic decision model for the selection of advanced technology[J]. *Int J Product Res*, 1994, 32(9): 2117-2130
- [8] Martin P, William M, Amrik S S. Advanced manufacturing technology investment: Criteria for organizational choice and appraisal[J]. *Integ Manuf Syst*, 1996, 7(5): 12-24
- [9] Sohal S A. A longitudinal study of planning and implementation of advanced manufacturing technologies[J]. *Int J Comput Integ Manuf*, 1997, 10(1-4): 281-295
- [10] Siha S A. Decision model for selecting mutually exclusive alternative technologies[J]. *J Comput Ind Eng*, 1993, 24(3): 459-475