

基于遗传算法的数控机床服务模块配置设计

盛忠起, 徐 涛, 旋嘉耀, 宋均有

(东北大学 机械工程与自动化学院, 辽宁 沈阳 110819)

摘 要: 为实现数控机床总体配置的最优化设计, 采用遗传算法对数控机床服务模块进行配置设计. 根据数控机床产品全生命周期过程中相关服务类型, 将服务模块划分为产品相关服务模块和产品不相关服务模块. 主要研究产品不相关服务模块, 利用遗传算法对各个服务模块进行编码, 并以服务价值系数、服务质量水平和客户相对满意度作为优化目标构建适应度函数, 建立数控机床服务模块化多目标模型. 通过各个服务模块以及子模块之间的相互约束关系保证模型的有效性. 最后, 通过 MATLAB 编程求解得到服务模块配置方案.

关 键 词: 遗传算法; 数控机床; 服务模块; 配置设计; MATLAB

中图分类号: TH 164 文献标志码: A 文章编号: 1005-3026(2015)06-0848-05

Genetic Algorithm-based Service Module Configuration Design of CNC Machine Tools

SHENG Zhong-qi, XU Tao, XUAN Jia-yao, SONG Jun-you

(School of Mechanical Engineering & Automation, Northeastern University, Shenyang 110819, China.

Corresponding author: SHENG Zhong-qi, E-mail: shengzhongqi@126.com)

Abstract: To realize the optimal design of the overall configuration of CNC machine tools, we use genetic algorithm to realize the configuration design of service module of CNC machine tools. According to the service type in product life cycle process, the service modules of CNC machine tools are classified into the product related service modules and the product unrelated service modules. We study the product unrelated service modules, using genetic algorithm to encode each service modules and using the service value coefficient, the service quality level and the customer satisfaction as the optimal object to establish the fitness function and set up the service modular multi-objective model of CNC machine tools. This algorithm can ensure the validity of the model through mutual constraint relationship between various service modules and submodules. Finally, the service module configuration scheme is solved by MATLAB.

Key words: genetic algorithm; CNC machine tools; service module; configuration design; MATLAB

制造业是国民经济的物质基础和产业主体, 在社会发展中占有极其重要的地位. 近年来, 服务在制造企业产值和利润中所占的比重不断增加, 服务设计成为热点话题. 本文根据产品模块化设计的相关概念, 将服务分解为服务模块. 文中的服务是与数控机床产品全生命周期相关的服务. 根据是否与产品相关, 可将服务分为与产品相关的服务和与产品不相关的服务.

所研究的服务不再是单纯意义上的信息服务, 而是向客户提供的物质性的服务, 所以在满足客户需求的基础上, 需要实现总体配置最优, 以避免出现局部最优的现象. 当前, 面向产品的服务模块配置研究相对不足, 还未形成系统性的理论成果. 遗传算法是一种比较成熟的智能算法, 本文将基于遗传算法解决服务模块划分与多目标配置问题.

收稿日期: 2014-05-05

基金项目: 中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(N120403003); 国家科技支撑计划项目(2012BAF12B08); 辽宁省科技计划项目(2013020052, 2011216010).

作者简介: 盛忠起(1972-), 男, 山东宁津人, 东北大学副教授.

1 数控机床服务模块化设计

1.1 服务模块化设计

本文对数控机床产品全生命周期中的增值服务进行搜索,以期获取功能更加全面的服务^[1].采用设计结构矩阵(DSM)模型^[2-3]对数控机床相关的服务活动进行模块划分.DSM是对产品开发过程进行规划和分析的矩阵工具.

定义 1 一个图(Graph)是一个序偶 $[V,E]$,记为 $Gr=[V,E]$,其中:

- 1) $V=\{v_1,v_2,\cdots,v_n\}$ 是有限的非空结点集合, v_i 称为结点, V 称为结点集;
- 2) E 是有限边的集合,称为边集. E 中的每一个元素 e 与 V 中的结点对 (v_i,v_j) 相对应.假定结点已经有了从 v_1 到 v_n 的次序,则 n 阶方阵 $Ad=(a_{ij})_{n\times n}$ 为 Gr 的邻接矩阵($i,j=1,2,\cdots,n$),其中:

$$a_{ij}=\begin{cases} 1, & \text{若 } (v_i,v_j)\in E \text{ 或 } (v_j,v_i)\in E; \\ 0, & \text{否则.} \end{cases} \quad (1)$$

定义 2 设 $Gr=[V,E]$ 是有向图,其中 $V=\{v_1,v_2,\cdots,v_n\}$,并假定结点已经有了从 v_1 到 v_n 的次序,定义 n 阶方阵 $P=(p_{ij})_{n\times n}$,其中:

$$p_{ij}=\begin{cases} 1, & v_i \text{ 到 } v_j \text{ 至少存在一条非零长度的通路;} \\ 0, & \text{否则.} \end{cases} \quad (2)$$

称矩阵 P 为图 Gr 的可达矩阵,且有 $P=Ad^{(1)}\vee Ad^{(2)}\vee Ad^{(3)}\vee\cdots\vee Ad^{(n)}$.其中, Ad 为 Gr 的邻接矩阵, $Ad^{(n)}$ 为 Ad 的 n 次幂矩阵.

设计结构矩阵 DSM 采用布尔型 DSM^[4],矩阵的和运算与乘积运算规则如表 1,表 2 所示.

表 1 和运算规则
Table 1 Addition operation rules

\wedge	0	1
0	0	0
1	0	1

表 2 乘积运算规则
Table 2 Product operation rules

\vee	0	1
0	0	1
1	1	1

设 $P=(p_{ij})_{n\times n}$ 是图 Gr 的可达矩阵, P^T 为 P 的转置矩阵,定义矩阵运算 $P\cap P^T$ 如式(3)所示.

$$P\cap P^T=\begin{pmatrix} p_{11} & \cdots & p_{1n} \\ \vdots & & \vdots \\ p_{n1} & \cdots & p_{nn} \end{pmatrix}\cap\begin{pmatrix} p_{11} & \cdots & p_{n1} \\ \vdots & & \vdots \\ p_{1n} & \cdots & p_{nn} \end{pmatrix}=\begin{pmatrix} p_{11}p_{11} & \cdots & p_{1n}p_{n1} \\ \vdots & & \vdots \\ p_{n1}p_{1n} & \cdots & p_{nn}p_{nn} \end{pmatrix}. \quad (3)$$

如果从结点 v_i 到 v_j 可达,则有 $p_{ij}=1$;如果从结点 v_j 到 v_i 可达,则有 $p_{ji}=1$.因此,结点 v_i 和 v_j 是相互可达的,当且仅当 $p_{ij}p_{ji}=1$.这样,若矩阵 $P\cap P^T$ 第 i 行的非零元素在第 j_1,j_2,\cdots,j_k 列,则结点 $v_i,v_{j_1},v_{j_2},\cdots,v_{j_k}$ 在同一个强联通分支中,即 $\{v_i,v_{j_1},v_{j_2},\cdots,v_{j_k}\}$ 导出的子图是 Gr 的强连通分支.

根据 $P\cap P^T$ 的运算结果,可以识别出服务过程中的服务活动,进行模块化设计.

1.2 数控机床服务模块划分

数控机床产品全生命周期中相关服务包括有形服务和无形服务.以提供产品或零部件的形式来实现的服务称为有形服务,包括数控机床租赁服务等.不以实体的形式来实现的服务称为无形服务,例如金融租赁服务等.若以是否与产品相关作为分类依据,可以将其分为与产品模块相关的服务模块和与产品模块不相关的服务模块,例如故障通知服务的可用与否取决于产品是否安装了远程诊断部件.

通过对数控机床服务模块的分析,最终得到的服务活动如表 3 所示.

表 3 数控机床提供的服务活动
Table 3 The service activities provided by CNC machine tools

编号	名称	编号	名称	编号	名称
A	机床销售	H	调试服务	O	数据分析
B	技术咨询	I	整机安装	P	管理培训
C	融资租赁	J	部件级回收	Q	紧急维修
D	物流服务	K	产品级回收	R	机床信贷
E	定期维修	L	机床质保	S	油温检测
F	远程维护	M	备件包供应	T	数控编程
G	远程监控	N	零部件供应		

数控机床产品全生命周期中所提供的服务活动之间可能是上下游关系,即串行关系(如机床质保和定期维修服务),也可能是并行关系(如机床销售咨询、技术咨询服务、运作管理培训和物流服务等).

综上所述,根据数控机床产品全生命周期中所提供的各个服务活动之间的信息传递,绘制出如图 1 所示的有向图.

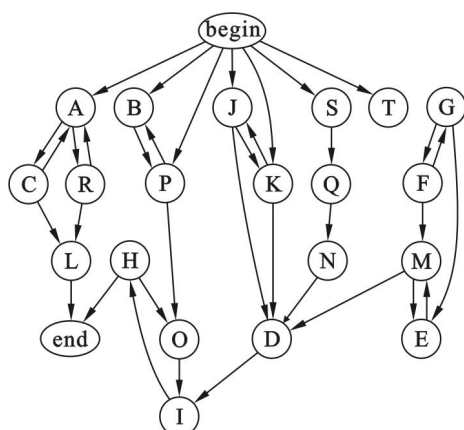


图 1 各服务活动间信息传递有向图
Fig. 1 Information transfer directed graph between the service activities

图 1 中将服务活动当作有向图中的结点,活动间关系当作有限边,则邻接矩阵 \mathbf{A} 实际上是设计结构矩阵 \mathbf{Q} . 根据有向图,可以得出服务活动的设计结构矩阵 $\mathbf{Q}_{n \times n}$,进而由定义 2 得到可达矩阵 \mathbf{P} . 根据服务活动间信息传递和对服务活动的设计结构矩阵的分析以及矩阵 $\mathbf{P} \cap \mathbf{P}^T$ 的运算结果,可以识别出服务过程中的服务活动集分别为 $\{A, C, R\}; \{B, P\}; \{D, H, I, N, Q\}; \{E, M\}; \{F, G\}; \{J, K\}; \{L\}; \{O\}; \{S\}; \{T\}$.

依据上述结果,将数控机床服务活动划分为

10 个服务活动集,划分结果如图 2 所示.

$$\mathbf{P} \cap \mathbf{P}^T = \begin{bmatrix} 1 & 1 & & & & & & & & 1 \\ & 1 & & & & & & & & 1 \\ 1 & 1 & & & & & & & & 1 \\ & & 1 & & 1 & 1 & & & 1 & 1 \\ & & & 1 & & & & 1 & & \\ & & & & 1 & 1 & & & & \\ & & & & & 1 & 1 & & 1 & 1 \\ & & & & & & 1 & 1 & & \\ & & & & & & & 1 & & \\ & & & & & & & & 1 & 1 \\ & & & & & & & & & 1 \\ 1 & 1 & & & & & & & & 1 \\ & & & & & & & & & & 1 \end{bmatrix}$$

2 服务模块多目标配置模型

遗传算法(GA)仿效生物界“物竞天择、适者生存”的演化法则,把问题参数编码为染色体^[5],再利用迭代的方式进行选择、交叉以及变异等运算来交换种群中染色体的信息,最终得到符合优化目标的染色体. 遗传算法的关键是编码和构建适应度函数,采用不同进制数进行编码,

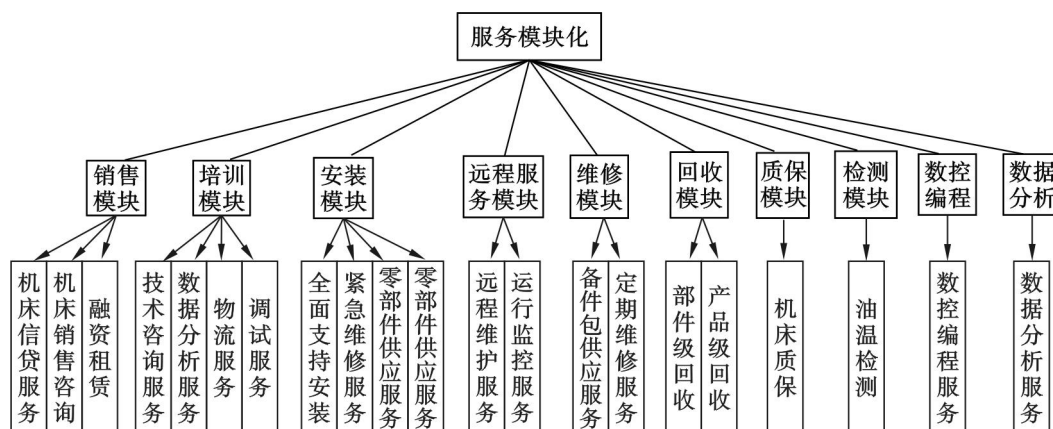


图 2 数控机床服务模块化结构
Fig. 2 The service modularized structure of CNC machine tools

$\mathbf{X} = \{x_1, x_2, \dots, x_p\}$, 其中 x_i 表示各个模块包含的子模块数目,然后随机生成初始种群^[6-7]. 本文将服务价值系数、服务质量水平和客户相对满意度作为优化目标建立适应度函数^[8].

2.1 构建适应度函数

定义配置函数 y_{ij} ,用来表征在配置时是否选配某子模块,1 表示选配,0 表示不选配.

1) 构建服务成本矩阵: $\mathbf{C} = (c_{11}, c_{12}, c_{13}, \dots,$

$c_{ij}, \dots, c_{mn})^T$. 其中, c_{ij} 表示实现第 i 个模块中第 j 个子模块功能所需的成本. $\mathbf{N} = (n_{11}, n_{12}, n_{13}, \dots, n_{ij}, \dots, n_{mn})^T$ 表示该模块的实际成本,则目标函数为

$$\min C_s = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n y_{ij} \cdot c_{ij} / n_{ij}. \quad (4)$$

式中, C_s 表示服务总成本.

服务成本的计算公式^[9-10]为

$$C_f = C_1 + C_2 + C_3 + C_4. \quad (5)$$

式中: C_1 为相关人员成本; C_2 为信息管理成本; C_3 为物流成本; C_4 为处理成本。

对于生产商而言,除了自己生产产品(称为自制品),也可以外购产品和服务(称为外购品)。由于风险的存在,当自制品与外购品效用相同时,人们更偏向于选择自制品。外购品价格需要低于自制品的价格。所以在企业的统一定价 P_s 前加一个系数 Y , $Y \in (0, 1)$, 通常可取 $(1/3, 1/2)$ 。

于是有 $(C_1 + C_2 + C_3 + C_4) \cdot (1 + r) \leq p \leq YP_s$, 其中, r 为目标利润率, p 为服务价格定价, P_s 为企业的统一定价。

2) 构建模块质量水平矩阵: $Q = (q_{11}, q_{12}, q_{13}, \dots, q_{ij}, \dots, q_{mn})^T$ 。其中, q_{ij} 表示第 i 个模块中第 j 个子模块的服务质量水平相关度。为求解方便, 定义 $Q' = (q'_{11}, q'_{12}, q'_{13}, \dots, q'_{ij}, \dots, q'_{mn})^T$ 为服务质量水平的倒数(即 q'_{ij} 是 q_{ij} 的倒数)。则目标函数为

$$\min Q_s = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n y_{ij} \cdot q'_{ij} \quad (6)$$

3) 构建顾客相对满意度矩阵: $S = (s_{11}, s_{12}, s_{13}, \dots, s_{ij}, \dots, s_{mn})^T$ 。其中, s_{ij} 表示第 i 个模块中第 j 个子模块对于客户的相对满意度。为求解方便, 定义 $S' = (s'_{11}, s'_{12}, s'_{13}, \dots, s'_{ij}, \dots, s'_{mn})^T$ 为客户相对满

意度的倒数(即 s'_{ij} 是 s_{ij} 的倒数), 则目标函数为

$$\min S_s = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n y_{ij} \cdot s'_{ij} \quad (7)$$

这些目标函数都为最小值求解, 可将其转化为单目标形式进行求解。转化方法有约束法、线性加权法、理想点法等, 本文采用线性加权法构建适应度函数:

$$f(x) = \omega_1 \cdot \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n y_{ij} \cdot c_{ij} + \omega_2 \cdot \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n y_{ij} \cdot q'_{ij} + \omega_3 \cdot \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n y_{ij} \cdot s'_{ij} \quad (8)$$

其中, $\omega_1 + \omega_2 + \omega_3 = 1$ 。

2.2 模块配置约束

将模块库中的模块配置成为满足客户需求的方案, 应满足服务约束。为使不同服务配置问题得以重用, 以保证配置知识的共享能力, 需要构建服务模块的配置模型, 用于说明配置知识。为说明模型的有效性, 适当加入了一些服务约束^[11]。

根据前述服务模块划分结果, 可对其相互约束关系进行描述, 以保证模块组合方案的合理性。图3所示为服务模块配置约束模型, 其中 $[1]$ 表示该模块为必选模块, $[0, 1]$ 表示该模块为可选模块。

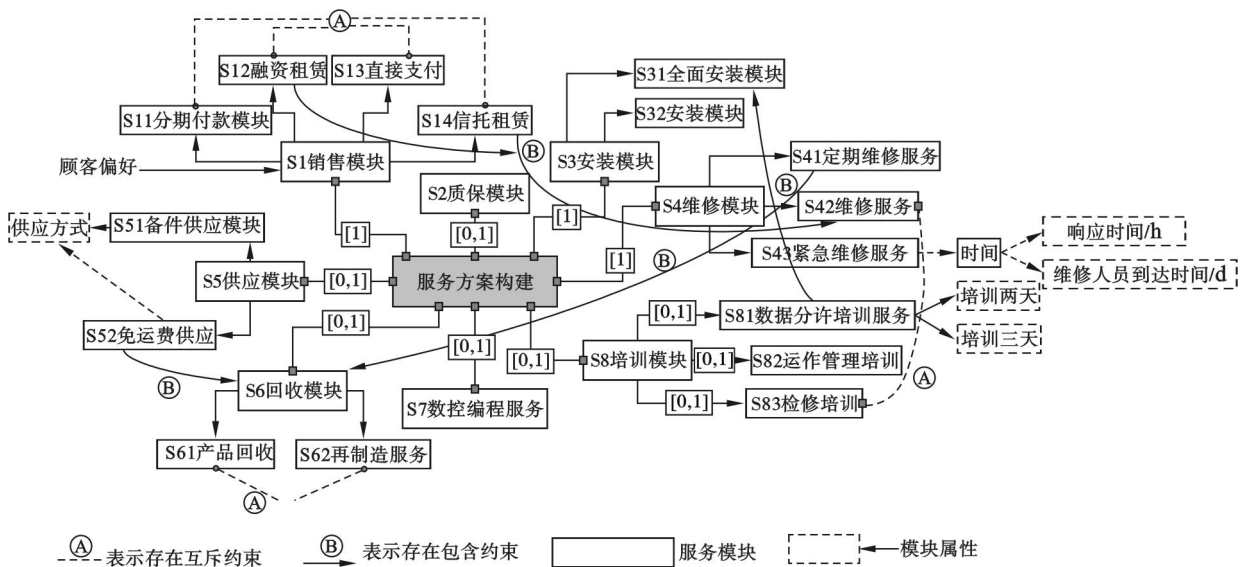


图3 服务模块之间配置约束模型

Fig. 3 Configuration constraint model between service modules

3 计算实例和结果分析

本文以数控机床相关服务为实例, 验证服务模块配置求解过程。根据客户需求, 获得服务模块的选配状况为: [销售模块 M1 质保模块 M2 安装

模块 M3 维修模块 M4 供应模块 M5 回收模块 M6 数控编程服务 M7 培训服务 M8] = [1 0 1 1 1 1 0 1]。

表4所示为各个子模块对应的服务价值系数、服务质量水平和客户相对满意度的对应取值。

表 4 各子模块相关数据
Table 4 The related data of sub-modules

模块	方 案											
	1			2			3			4		
	c_s	q_s	s_s	c_s	q_s	s_s	c_s	q_s	s_s	c_s	q_s	s_s
M1	1	0.80	0.5	0.80	0.9	1	0.8	1	0.8	0.7	1	0.5
M3	0.6	1	0.8	0.80	0.5	1						
M4	0.90	0.4	1	0.5	1	0.8	1	0.60	0.8			
M5	0.90	0.80	0.5	0.6	1	0.7						
M6	0.5	1	1	0.70	0.90	0.5						
M8	0.7	1	0.7	0.60	0.8	1	0.40	0.90	0.8			

对模块进行编码,采用进制位数为[4 2 3 2 3 2]. 取权重为 $\omega_1 = \omega_2 = 0.33$, $\omega_3 = 0.34$, 用 MATLAB 编程进行求解,将最终结果进行合并得到两种方案,如图 4 所示,在第 6 代时就出现收敛,收敛速度快,其运算结果为

$$F_1 = [0.731\ 0, 0.769\ 0, 0.767\ 0, 0.731\ 0, 0.701\ 0, 0.698\ 0],$$

$$F_2 = [0.731\ 0, 0.800\ 0, 0.767\ 0, 0.731\ 0, 0.701\ 0, 0.698\ 0].$$

对应求解模块组合为

- 方案 1:[$M_{14}\ M_{32}\ M_{41}\ M_{51}\ M_{62}\ M_{83}$],
方案 2:[$M_{14}\ M_{32}\ M_{42}\ M_{51}\ M_{62}\ M_{83}$],
方案 3:[$M_{14}\ M_{31}\ M_{42}\ M_{51}\ M_{62}\ M_{83}$],
方案 4:[$M_{14}\ M_{32}\ M_{42}\ M_{51}\ M_{62}\ M_{83}$].

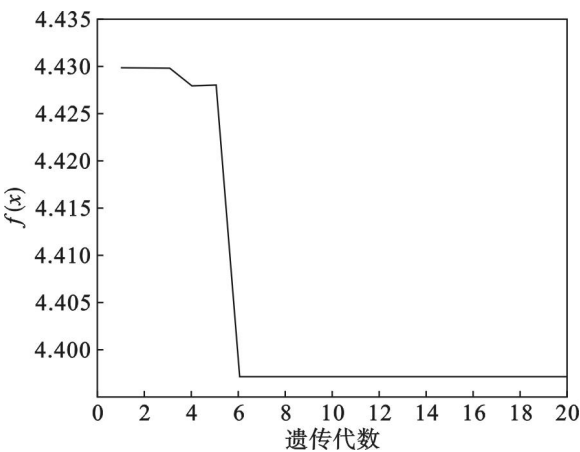


图 4 遗传代数与最优结果关系
Fig. 4 The relationship between genetic algebra and optimal result

模块组合方案并未考虑到模型中各个服务模块之间的配置约束关系,因此可以根据图 3 所列的配置约束条件,最终确定出方案 1 为符合配置约束的方案.

4 结 论

本文利用模块化思想对与数控机床产品不相关的服务进行模块化设计;利用结构设计矩阵(DSM)对服务模块进行划分;考虑服务成本、模块质量水平和客户满意度三个指标,建立了服务模块配置优化模型;采用遗传算法对优化问题进行求解,得到机床产品服务模块的最优配置方案. 本文提出的方法简捷可行,能够实现服务模块的快速配置.

参考文献:

[1] Gutierrez A M, Sachez J M, Kusiak A. Handbook of life cycle engineering: concepts, models and technologies [M]. London: Chapman and Hall, 1999: 495 – 512.

[2] 唐敦兵, 钱晓明, 刘建刚. 基于设计结构矩阵 DSM 的产品设计与开发[M]. 北京: 科学出版社, 2009: 111 – 115. (Tang Dun-bing, Qian Xiao-ming, Liu Jian-gang. Product design and development based on DSM[M]. Beijing: Science Press, 2009: 111 – 115.)

[3] Li M Q, Li D Y. Modular decomposition method based on design structure matrix and application [J]. Indonesian Journal of Electrical Engineering, 2012, 10 (8) : 2169 – 2175.

[4] Tang D, Zheng L, Li Z, et al. Re-engineering the design process for concurrent engineering [J]. Computers and Industrial Engineering, 2000, 38: 479 – 491.

[5] Balakrishnan P V, Jacob V S. Genetic algorithms for product design[J]. Management Science, 1996, 42(8) : 1105 – 1127.

[6] Fujita K. Product variety optimization under modular architecture[J]. Computer-Aided Design, 2002, 34 (12) : 953 – 965.

[7] Deb K, Pratap A, Agarwal S. A fast and elitist multi-objective genetic algorithm: NSGA-II [J]. IEEE Transactions on Evolutionary Computation, 2002, 6(2) : 182 – 197.

[8] De Jong K A, Spears W M, Gordon D F. Using genetic algorithms for concept learning[J]. Machine Learning, 1993, 13: 161 – 188.

[9] Lu Z. An analytical study on service-oriented manufacturing strategies[J]. International Journal of Production Economics, 2012, 139: 220 – 228.

[10] Erkoyuncu J A, Rajkumar R, Shehab E, et al. Understanding service uncertainties in industrial product service system cost estimation [J]. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2011, 52: 1223 – 1238.

[11] Shen J, Wang L, Sun Y. An ontology-based approach to product extension services modelling in servitisation [J]. International Journal of Services Operations and Informatics, 2010, 5(4) : 373 – 379.