

基于 GSPN 的嵌入式产品研发过程建模与优化

蒋 霄¹,熊庆宇¹,蔡章利¹,杨 斌¹,康文捷²

(1.重庆大学 自动化学院,重庆 400044;2.重庆川仪总厂有限公司,重庆 401121)

摘 要:一个高效的产品研发流程可以提高企业的工作效率和市场的竞争力。针对嵌入式产品研发过程管理混乱、研发项目过程中时间管理控制不足等特点,运用广义随机 Petri 网理论和工作流技术建立嵌入式产品研发过程模型来优化当前的嵌入式产品研发过程,对模型进行定性分析和定量分析,得到模型正确性和工作流的关键性能指标。最后以此为基础实现嵌入式产品研发过程的优化,优化后的工作流模型符合企业的实际需求,缩短了工作流的平均执行时间。

关键词:广义随机 Petri 网(GSPN);工作流;半马尔可夫过程;模型优化

中图分类号:TP393

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2010)09-0019-05

Modeling and Optimization of Embedded Product Development Process Based on GSPN

JIANG Xiao¹,XIONG Qing-yu¹,CAI Zhang-li¹,YANG Bin¹,KANG Wen-jie²

(1.College of Automation, Chongqing University, Chongqing 400044, China;

2.Chuanyi Instrument Factory, Chongqing 401121,China)

Abstract:An outstanding product development process is significant to improve enterprises' work efficiency and market competitiveness. The deficiencies of embedded product development process are managerial confusion and time control insufficiency, etc. Make use of the Petri nets and workflow technology to model business process for embedded product development. The validity of the model is proved and the performance of the model is analyzed with the theories of generalized stochastic petri nets. According to the analysis in operation time, the optimized model meets the actual demands and is shortened the average execution time of workflow.

Key words:generalized stochastic petri nets (GSPN);workflow; semi-Markov process;model improvement

0 引言

目前,嵌入式产品研发过程具有前期投入大、涉及知识范围广、项目管理和进度控制困难、质量保证要求高等特点。随着市场竞争的日益激烈,如何缩短嵌入式产品研发时间、提高企业生产效率已成为企业关注的焦点。经调研,不少企业的管理模式不能适应当前发展。如新产品的研发与生产脱节,造成研发新产品不能很快投入大批量生产;研发项目过程中时间管理控制不足;测试与研发过程脱节等。通过分析嵌入式产品研发过程中存在的问题,合理利用信息技术,建立业务流程模型,并对其业务流程优化,提高了流程的运作效率,更好地满足客户和市场需求。

嵌入式产品研发过程是各部门共同协作的过程。国际工作流管理联盟定义工作流为一类能够完全或者部分执行的经营过程,它根据一系列过程规则、文档、信息或者任务能够在不同的执行者之间进行传递与执行。工作流技术开始成为研究过程工程的使能工具^[1]。因此,嵌入式产品开发过程可以看成一个工作流。目前一些工作流管理系统的运行比较侧重于工作流模型的定义和执行管理,对工作流模型的分析不全面,没有考虑实际应用的结构分析和性能检验^[2~4]。工作流的时间性能是一个重要的考察指标^[5],文中运用 Petri 网理论对其工作流模型进行建模和分析,为这一问题提供了一个比较有效的方法,并对其业务流程进行时间性能分析及优化。

收稿日期:2010-01-22;修回日期:2010-04-25

基金项目:重庆市科技攻关项目(CSTC2007AB2041,2008AC2108)

作者简介:蒋 霄(1983-),女,河南驻马店人,硕士研究生,研究方向为嵌入式系统、工作流管理;熊庆宇,教授,博士生导师,研究领域为智能系统与智能计算、普适计算与嵌入式系统、智能感知、自组织网络与控制。

1 基本理论

1.1 Petri 网基本概念

Petri 网最早是由 Petri 博士于 1962 年提出的,用来描述计算机系统事件之间的因果关系。40 多年来,

Petri 网不断充实和发展,在计算机、自动化、通信、交通、电力与电子、服务以及制造等领域得到广泛的应用。Petri 网方法是一种应用广泛的图形化建模方法,既有严格的数学表述方式,也有直观的图形表达方式;既有丰富的系统描述手段,又具有系统行为分析技术。

定义 1 Petri(PN)的结构是由 4 要元描述的有向图: $PNS = (P, T, I, O)^{[6]}$

其中:

(1) $P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$ 是库所的有限集合, $n > 0$ 为库所的个数;

(2) $T = \{t_1, t_2, \dots, t_n\}$ 是变迁的有限集合, $m > 0$ 为变迁的个数; $P \cap T = \emptyset$

(3) $I: P \times T \rightarrow N$ 是输入函数,定义了从 P 到 T 的有向弧的重复数或权的集合,这里 $N = \{0, 1, \dots\}$ 为非负整数集;

(4) $O: T \times P \rightarrow N$ 是输出函数,定义了从 T 到 P 的有向弧的重复数或权的集合。

在表示 Petri 结构的有向图中,库所以圆表示;变迁以长方形或粗实线段表示;若从库所 p 到变迁 t 的输入函数取值为非负整数 w ,记为 $I(p, t) = w$,则用从 p 到 t 的一有向弧并旁注 w 表示;若从库所 t 到 p 变迁的输入函数取值为非负整数 w ,记为 $O(p, t) = w$,则用从 t 到 p 的一有向弧并旁注 w 表示。

1.2 广义随机 Petri 网

广义随机 Petri 网(GSPN)的基本思想是允许网中存在两种不同性质的转移发送,立即转移和指数转移^[7]。

定义 2 GSPN 定义为:

$$GSPN = \{P, T, I, O, m_0, F\}$$

其中: P, T, I, O, m_0 是一个 Petri 系统, F 是将正实数的激发率与所有变迁关联的激发函数。 F 中允许有禁止弧,禁止弧仅存在于从库所到变迁的弧。

1.3 工作流网概念

定义 3 一个 Petri 网 $PN = \{P, T, F\}$ 是工作流网,当且仅当^[8]:

- (1) 存在一个源库所 $i \in P$,使得 $\cdot i = \emptyset$;
- (2) 存在一个汇节库所 $o \in P$,使得 $o \cdot = \emptyset$;
- (3) 每一个节点 $x \in P \cup T$ 都位于从 i 到 o 的一条路径上。

2 嵌入式产品研发过程的 Petri 网描述

本节根据某企业嵌入式产品研发特点,设计出其研发过程流程,并对其进行建模。

2.1 嵌入式产品研发过程的业务流程描述

嵌入式产品研发过程首先由市场营销部进行调研

分析,提交相关报告材料,由领导审批,审批通过后项目立项。项目立项后,由技术研发中心提交可行性研究报告,相关领导审查通过后,技术研发中心制定项目计划书;相关领导审查通过后,技术研发中心制定项目实施计划;相关领导审批后,技术研发中心制定方案设计;再由专家审批,技术研发中心商榷是否存在技术问题,制定技术设计,技术设计审批后,制定软硬件系统开发和机械结构设计;设计完成后测试试用,由质管部检验,合格后项目开发完成开发报告,项目归档。

2.2 工作流模型建立

其工作流模型如图 1 所示。

其中, t_1 : 调研,

提交相关报告材料;

t_2 : 项目立项; t_3 : 可行性

分析报告审核; t_4 :

制定项目计划任务书; t_5 : 制定项目实施

计划; t_6 : 制定方案设

计; t_7 : 制定技术设计;

t_8 : 实施硬件系统开

发; t_9 : 实施软件系统

开发; t_{10} : 实施机械结

构设计; t_{11} : 测试; t_{12} :

完成开发报告; t_{13} : 项

目归档; t_{14} : 可行性报

告修改等待评审; t_{15} :

项目计划任务书修改

等待评审; t_{16} : 项目实

施计划书修改等待评

审; t_{17} : 方案设计修改

等待评审; t_{18} : 技术设

计修改等待评审; t_{19} :

可行性分析未通过,

终止; t_{20} : 调研计划未

通过,终止。

2.3 模型正确性分析

图 1 工作流建模

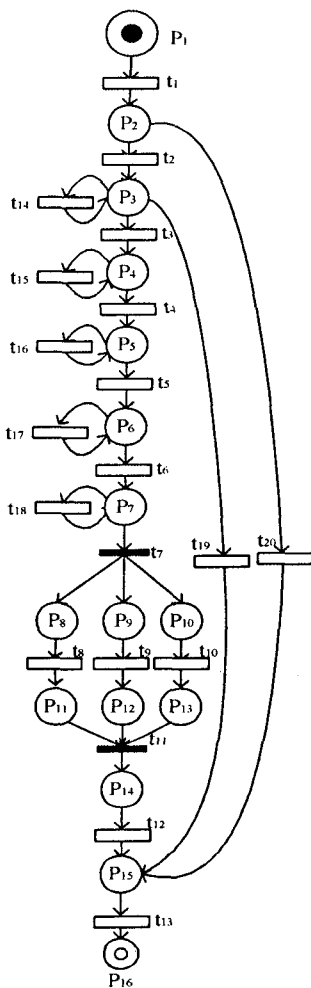
根据图 1 模型,按照 Petri 网定义,该 PN 结构可描述为:

$$P = \{P_1, P_2, P_3, P_4, P_5, P_6, P_7, P_8, P_9, P_{10}, P_{11}, P_{12}, P_{13}, P_{14}, P_{15}, P_{16}\}$$

$$T = \{t_1, t_2, t_3, t_4, t_5, t_6, t_7, t_8, t_9, t_{10}, t_{11}, t_{12}, t_{13}, t_{14}, t_{15}, t_{16}, t_{17}, t_{18}, t_{19}, t_{20}\}$$

其关联矩阵为:

$$C = O - I =$$



$$\begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

由 $CX = 0$, 可求得 X 的值。方程解可得 S - 不变量(即库所不变量), 由于方程秩为 $R(A) = 15$, 其秩小于方程的行数 16, 因此方程有无数解, 该模型的 S - 不变量存在, 此模型是活的、有界的、守恒的。

3 基于 GSPN 的性能分析

3.1 GSPN 的分析方法

利用 GSPN 进行系统性能分析的具体步骤如下:

(1) 建立系统的 PN 模型, 并将指数分布时延与所有变迁关联^[6]。

(2) 产生可达图 $R(m_0)$, 从而得到马尔可夫链。所有标识或状态为 m_0, m_1, \dots, m_{q-1} , q 为状态总数^[6]。

(3) 分析半马尔可夫过程。

一个半马尔可夫过程是一连续时间随机过程, 其一, 隐含的离散时间随机过程为一个离散时间马尔可夫链; 其二, 过程的每一个状态的逗留时间是一个连续随机变量或一个确定量, 逗留时间是相互独立的^[9]。

广义随机 Petri 网的标记过程是一个具有状态空间的半马尔可夫链过程^[9], 对于 GSPN 的标记过程, 速逝标记的滞留时间为零。

设系统有 s 个可感知标记, 以 π_i 表示标识过程中 M_i 的稳态概率, 以 m_i 表示标记 M_i 的平均滞留时间, $i = (1, 2, \dots, s)$ ^[9]。

$$m_i = 1 / \sum_{t_k \in T_i} F(M_i, t_k) \quad (1)$$

设 $Y = [y_1, y_2, \dots, y_s]$, 其中 y_i 为标记过程访问标记 M_i 的比率^[9]。

$$\left. \begin{aligned} YA &= Y \\ \sum_{i=1}^s y_i &= 1 \\ y_i &\geq 0 \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

式中, A 为转移概率矩阵, 由此可得 y_i 。

稳态概率定义为^[9]:

$$\pi_i = y_i m_i / \sum_{j=1}^s y_j m_j \quad (3)$$

3.2 模型稳态概率分析

根据图 2 可知, 初始标识

$$m_0 = (1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0)^T$$

GSPN 中瞬时变迁优于时间变迁, 从而造成一些标识不可达。在表 1 列出的从 M_0 到 M_{16} 的标识中, $M_1, M_2, M_3, M_4, M_5, M_6, M_7, M_{11}, M_{12}, M_{13}, M_{14}, M_{15}, M_{16}$ 为可感知标识, 根据图 1 得到其对应的退化嵌入马尔可夫链, 如图 2 所示。

表 1 图 2 中 GSPN 的可达集

	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅	P ₆	P ₇	P ₈	P ₉	P ₁₀	P ₁₁	P ₁₂	P ₁₃	P ₁₄	P ₁₅	P ₁₆
M_0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M_1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M_2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M_3	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M_4	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M_5	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M_6	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M_7	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
M_8	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0
M_9	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0
M_{10}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0
M_{11}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
M_{12}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
M_{13}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
M_{14}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
M_{15}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
M_{16}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

其转移概率矩阵 $A = (a_{ij})_{q \times q}$, $i = 0, 1, 2, \dots, q-1$; $j = 0, 1, 2, \dots, q-1$ 对于 A 的第 i 行元素 a_{ij} 满足:

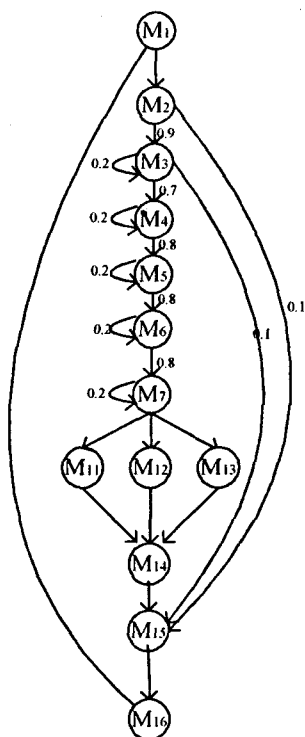


图 2 退化马尔可夫链

(1) a_{ij} 为标识 m_i 到 m_j 的所有输出弧的变迁激活速率之和。

(2) A 中任意行元素都满足 $\sum_{j=0}^{n-1} a_{ij} = 1$ (见式(4))。

$$Y = [y_1 \ y_2 \ y_3 \ y_4 \ y_5 \ y_6 \ y_7 \ y_{11} \ y_{12} \ y_{13} \ y_{14} \ y_{15} \ y_{16}]$$

据式(2)解得:

$$Y = [0.0940, 0.0940, 0.1058, 0.0925, 0.0925, 0.0925, 0.0925, 0.0278, 0.0278, 0.0185, 0.0740, 0.0940, 0.0940]$$

据式(1)可得:

$$[m_1, m_2, m_3, m_4, m_5, m_6, m_7, m_{11}, m_{13}, m_{14}, m_{15}, m_{16}] = [1/3, 1/5.5, 1/6.7, 1/7, 1/7, 1/7, 1/4.6, 1/4, 1/4, 1/4, 1/8, 1/10, 1/10]$$

根据式(3), 可得半马尔可夫过程的稳态概率为:

$$[\pi_1, \pi_2, \pi_3, \pi_4, \pi_5, \pi_6, \pi_7, \pi_{11}, \pi_{12}, \pi_{13}, \pi_{14}, \pi_{15}, \pi_{16}] = [0.1837, 0.1002, 0.0926, 0.0775, 0.0775, 0.0775, 0.1179, 0.0408, 0.0408, 0.0271, 0.0542, 0.0551, 0.0551]$$

$$\text{且满足 } \sum_{i=0}^{n-1} \pi_i = 1$$

3.3 时间性能指标分析

利用 Little 规则和平衡原理^[10], $T = \bar{N}/\lambda$, \bar{N} 是队列平均长度, λ 为队列到达平均速率, T 是队列平均延时时间。

广义随机 workflow 网的平均执行时间为:

$$T = \bar{N}/\lambda = \sum_{i=0}^n y_i m_i / y_0$$

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.9 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.1 & 0 \\ 0 & 0 & 0.2 & 0.7 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.2 & 0.8 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.2 & 0.8 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.2 & 0.8 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.2 & 0.3 & 0.3 & 0.2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (4)$$

其中, y_0 为标记过程访问标记的比率。

得到工作流的平均时间为:

$$T = \sum_{j=0}^n y_j m_j / y_{16} = 1.814$$

4 嵌入式产品研发过程的优化

4.1 优化方法

对于企业流程再设计基本有 4 种设计方法^[11,12]:

(1) 消除: 消除部分冗余的流程, 提高流程执行的准确性和效率;

(2) 整合: 将原来几种分散执行的作业任务, 压缩成一个流程作业任务;

(3) 简化: 将原来繁琐庞杂的作业任务, 去繁就简, 强化关键作业;

(4) 细化: 将原来集中的流程任务, 扩散融入更大的范围和具体的执行环节中。

4.2 流程优化建模

图 1 所示业务流程分析如下:

(1) 产品研发的实际过程中, 项目计划任务书包括了项目实施计划的制定, 重复制定计划, 直接影响项目进度;

(2) 方案设计的制定和技术设计的制定, 每个阶段都需要相应的领导审批, 审批的重复降低了流程的运作效率;

(3) 研发过程中硬件系统、软件系统和机械结构的设计都是独立的, 产品成型后再由测试工程师进行测试。测试报告无人监督编写;

(4) 测试完成后, 直接进行项目归档, 缺少质检环节。

针对上述问题, 利用消除、整合、简化、细化的方法对原业务流程进行重组再造, 如图 3 所示。

t_1 : 调研, 提交相关报告材料; t_2 : 项目立项; t_3 : 可行性分析报告审核; t_4 : 制定项目计划任务书; t_5 : 制定方案设计与技术设计; t_6 : 系统设计, 包括硬件系统开发、软件系统开发、机械结构设计; t_7 : 制定测试计划; t_8 : 测试并质检; t_9 : 完成开发报告; t_{10} : 项目归档; t_{11} : 可行性报告修改等待评审; t_{12} : 项目计划任务书修改等待评审; t_{13} : 可行性分析未通过, 终止; t_{14} : 调研计划未通过, 终止。

4.3 性能指标计算比较

根据图3建立新的马尔可夫链, 如图4所示。

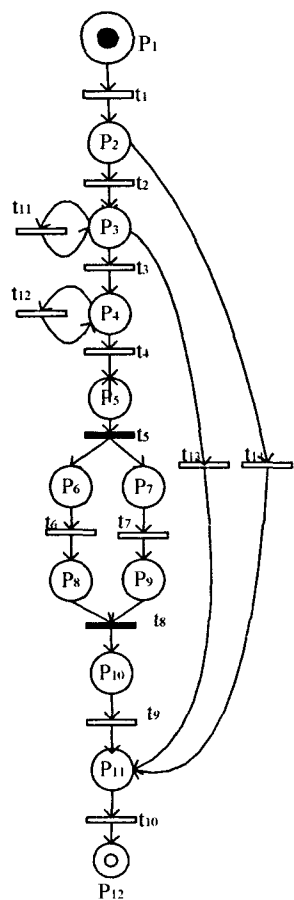


图3 重构 workflow 建模
其转移概率矩阵为:

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.9 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.2 & 0.7 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.2 & 0.8 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.5 & 0.5 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

图4 重构模型生成的退
化马尔可夫链

$$Y = [0.1080, 0.1080, 0.1215, 0.1063, 0.0850, 0.0425, 0.0425, 0.0850, 0.1080, 0.1080]$$

$$[m_1, m_2, m_3, m_4, m_5, m_6, m_8, m_9, m_{10}, m_{11}, m_{12}] = [1/3, 1/5.5, 1/6.7, 1/7, 1/5, 1/4, 1/4, 1/8, 1/10, 1/10]$$

$$[\pi_1, \pi_2, \pi_3, \pi_4, \pi_5, \pi_6, \pi_7, \pi_8, \pi_9, \pi_{10}, \pi_{11}, \pi_{12}] = [0.2424, 0.1320, 0.1219, 0.1024, 0.1145, 0.0714, 0.0714, 0.0714, 0.0727]$$

$$T = \sum_{j=0}^{\infty} y_j m_j / y_{12} = 1.375$$

比较优化前后的 workflow 模型, 优化后的模型更符合企业的实际需求, 通过马尔可夫法分析时间性能, 优化后的 workflow 执行时间明显缩短了。

5 结束语

文中建立了嵌入式产品研发流程模型, 并对其进行重构优化, 将广义随机 Petri 网理论引入到 workflow 建模中, 运用马尔可夫法分析一系列的性能指标, 如 workflow 网的稳态概率、平均执行时间。通过流程优化, 性能指标得到改善, 解决了企业过去繁琐、庞杂的作业任务, 提高了技术研发人员工作效率, 增强了部门间的协调力度。

参考文献:

- [1] O'Hara - Schettino E, Gornaa H. Dynamic navigation in multiple view software specifications and designs[J]. The Journal of Systems and Software, 1998, 41(2): 93 - 103.
- [2] Injun C, Chulsoon P, Changwoo L. Task net: transactional workflow model based on colored Petri net[J]. European Journal of Operational Research, 2002, 136(2): 383 - 402.
- [3] Deng Shuiguang, Wu Chaohui, Yu Zhen. Flexible workflow model based on ECA joined with activity[J]. Journal of Computer - Aided Design & Computer Graphics, 2004, 16(5): 712 - 718.
- [4] 姜 浩, 董逸生, 罗军舟. 一种基于扩展时间 Petri 网的 workflow 时间性能评价方法[J]. 计算机研究与发展, 2005, 42(5): 849 - 855.
- [5] 李建强, 范玉顺. workflow 模型时间有界性验证与分析研究[J]. 计算机集成制造系统, 2002, 8(10): 770 - 775.
- [6] 江志斌. Petri 网及其在制造系统建模与控制中的应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 2004.
- [7] 林 闯. 随机 Petri 网和系统性能评价[M]. 北京: 清华大学出版社, 1999.
- [8] Wan der Aalst W, Wan Hee K. workflow 管理 - 模型/方法和系统[M]. 王建民, 闻立杰, 译. 北京: 清华大学出版社, 2004.

3 实验及结果分析

以一个简单判断三角形类型的程序作为被检测程序,使用文中的基于改进的粒子群优化算法的测试用例自动生成算法自动生成测试用例,并与遗传算法、人工免疫算法的测试实验数据进行了比较。实验结果采用迭代次数和运行时间作为评价指标^[12],生成所有目标路径测试用例的迭代次数越少、时间越短,说明算法效果越好。

从实验可以看出,种群规模越大,找到全部测试用例所需的迭代次数越少,也就是说,种群规模越大则多样性越好,越容易找到路径的测试用例。但是,种群规模越大,进行一次运行所需的时间越多。所以,在实际应用中要综合考虑这两者的因素。

表1是文中算法和遗传算法、人工免疫算法在粒子群数和种群数从10到50时,生成最优解的迭代次数情况及相应的运行时间。实验中对每个粒子群数和种群数各运行10次。表1记录了找到最优解迭代次数的平均值,生成最优解所需的时间则是10次运行的平均值。

表1 文中算法与遗传算法、人工免疫算法生成三角形测试数据的迭代次数和时间

粒子群数 (种群数)	找到最优解迭代的次数			找到最优解迭代的时间(ms)		
	文中 算法	遗传 算法	人工免 疫算法	文中 算法	遗传 算法	人工免 疫算法
10	23.5	263.3	123.2	20.6	323.5	187.1
20	19.5	239.7	110.6	19.2	286.5	162.5
30	16.7	152.9	82.1	19.5	265.4	155.7
40	9.9	161.5	87.3	18.2	268.3	157.1
50	11.7	116.5	70.5	17.6	227.7	133.9

从表1可以看出文中算法的平均迭代次数和平均运行时间都比遗传算法、人工免疫算法的要少,文中算法生成所需测试用例的迭代次数大约是遗传算法的1/11、人工免疫算法的1/5,平均运行时间大约是遗传算法的1/16、人工免疫算法的1/8。实验证明,文中改进的粒子群优化算法生成测试用例的效果明显较好。

4 结束语

文中提出的基于改进的粒子群优化算法的测试用例自动生成算法具有算法简单、易实现、设置参数少等特点,能更好地应用在软件测试平台的系统中。大大

提高了测试用例自动生成效率,缩短了开发周期,降低了开发成本。同时也提高了算法的局部收敛能力,能更快地收敛于最优解,算法的搜索效率有了很大的提高,非常适合软件测试中测试用例自动生成的应用。

由于时间关系,文中只实现了数值类型的数据,对其它类型的数据比较难处理,还需要进一步进行研究,实现更大程度的自动化。

参考文献:

[1] Gallagher M, Narasimhan V L. ADTEST: A Test Data Generation Suite for Ada Software Systems[J]. IEEE Transactions on Software Engineering,1997, 23(8):473-484.

[2] Mosley D J, Posey B A. 软件测试自动化[M]. 邓波,等译.北京:机械工业出版社,2003.

[3] 朱少民. 软件测试方法和技术[M]. 北京:清华大学出版社,2005.

[4] Kennedy J, Eberhart R. Particle Swarm Optimization[C]// In: Proc IEEE Int Conf on Neural Networks. [s.l.]:[s.n.], 1995:1942-1948.

[5] 朱玉平. 一种改进粒子群优化算法[J]. 计算机技术与发展,2008,18(11):106-108.

[6] 王艳玲,李龙澍,胡哲. 群体智能优化算法[J]. 计算机技术与发展,2008,18(8):114-117.

[7] Clerc M. The Swarm and the Queen: Towards a deterministic and Adaptive Particle Swarm Optimization[C]// Proceedings of 1999 Congress Evolutionary Computation. Piscataway, NJ:IEEE Press,1999:951-957.

[8] Kennedy J, Eberhart R C. A New Optimizer Using Particle Swarm Theory[C]// Proceedings of the sixth International Symposium on Micro Machine and Human Science. Nogyoya, Japan:[s.n.],1995:39-43.

[9] Shi Y, Eberhart R C. A Modified Particle Swarm Optimizer [C]// Proceedings of the IEEE Congress on Evolutionary Computation. [s.l.]:[s.n.],1998:69-73.

[10] 万琳. 面向C程序的测试用例自动生成实现[J]. 火力与指挥控制,2006,31(10):73-76.

[11] 郑钧泽,徐晓峰,郭东辉. 基于克隆选择算法的面向程序路径测试数据生成方法[J]. 计算机技术与发展,2009,19(8):8-10.

[12] 马臻. 基于遗传算法的构件化软件测试用例生成研究[D]. 西安:西安理工大学,2006.

(上接第23页)

[9] 李培根. 制造系统性能分析建模-理论与方法[M]. 武汉:华中理工大学出版社,1998.

[10] van der Aalst W M P. The application of Petri nets to work-flow management[J]. The Journal of Circuits Systems and

Computers, 1998, 8(1):21-66.

[11] 王璞. 流程再造[M]. 北京:中信出版社,2005.

[12] 佩帕德 J, 罗兰 P. 业务流程再造[M]. 第2版. 北京:中信出版社,1999.