

# 微流程模型的效率改进<sup>\*</sup>

施正香<sup>1,2</sup>,罗文杰<sup>1</sup>,孙建东<sup>1</sup>,周洋<sup>1</sup>,杨俊刚<sup>3</sup>

(1.云南电网有限责任公司 迪庆供电局,云南 迪庆 674400;

2.西南林业大学 大数据与智能工程学院,云南 昆明 650224;3.云南云电同方科技有限公司,云南 昆明 650217)

**摘要:**业务流程管理技术是组织实施信息系统的重要使能技术。为提高流程模型的质量,提出了一种改进微流程模型效率的方法。首先,根据微流程模型的结构,提取任务关系;其次,从数据视角,分析任务间的依赖关系;然后,根据依赖关系,更新任务关系;最后,根据更新后的任务关系,使用经典 $\alpha$ 算法重构一个新的流程模型。实验结果表明,该方法能有效改进微流程模型的效率。

**关键词:**业务流程管理;微流程模型;Petri网;效率改进

中图分类号: TN081;TP311

文献标识码: A

DOI:10.16157/j.issn.0258-7998.201182

中文引用格式:施正香,罗文杰,孙建东,等.微流程模型的效率改进[J].电子技术应用,2021,47(11):85-89.

英文引用格式:Shi Zhengxiang, Luo Wenjie, Sun Jiandong, et al. Improving efficiency of micro processes models[J]. Application of Electronic Technique, 2021, 47(11):85-89.

## Improving efficiency of micro processes models

Shi Zhengxiang<sup>1,2</sup>, Luo Wenjie<sup>1</sup>, Sun Jiandong<sup>1</sup>, Zhou Yang<sup>1</sup>, Yang Jungang<sup>3</sup>

(1.Diqing Power Supply Bureau, Yunnan Power Grid Co., Ltd., Diqing 674400, China;

2.School of Big Data and Intelligent Engineering, Southwest Forestry University, Kunming 650224, China;

3.Yunnan Yundian Tongfang Technology Co., Ltd., Kunming 650217, China)

**Abstract:** Business process management is an important enabling technology for organizations to build information systems. To improve the quality of process models, this paper propose a method to improve the efficiency of micro process models. First, task relationships are extracted according to the structure of the micro process model, including sequence relations, selection relations, and concurrency relations. Second, data dependence relations between tasks are analyzed from the data perspective. Third, the extracted task relationships are updated according to the data dependency relationships. Finally, the classical  $\alpha$  algorithm is used to reconstruct a new micro process model based on the updated task relations. Experimental results show that this method can effectively improve the efficiency of microprocess model.

**Key words:** business process management; micro process model; Petri nets; efficiency improvement

## 0 引言

业务流程管理是组织用来构建和更新信息系统的主要技术之一<sup>[1]</sup>。其关键思想是业务流程用业务流程模型来建模,而信息系统的开发通过流程模型来驱动<sup>[2]</sup>。从控制流视角,业务流程模型描述了为完成某些业务目标应该执行哪些任务以及它们的执行顺序;从数据视角,业务流程模型描述了应该处理的数据;从资源视角,业务流程模型描述了谁应该负责什么任务。

为了快速响应客户需求,应该持续演化信息系统。为了支持更好地持续演化,业务流程管理要求业务流程微化<sup>[3]</sup>。相比传统的业务流程,微流程为特定条件下不可再分解的业务流程。当微流程模型被建模后,一个关

键问题是能否改进该模型的效率<sup>[4]</sup>。例如,原本可并发执行的两个任务在微流程模型中被建模为顺序执行。因此,该流程模型的执行效率是低效的。

改进微流程模型是指在不改变外部行为的情况下修改流程模型内部结构的过程<sup>[5-6]</sup>。现有研究工作主要关注改进业务流程模型的可理解性、可维护性。在改进业务流程模型的可理解性方面,文献[7]提出了一种对业务流程模型的活动进行自动标注的方法;文献[8]提出使用动词-宾语的样式对业务流程模型的活动进行标注,从而提高了业务流程模型的可理解性;文献[9]提出了一种活动标签的样式转换方法,用于将名词样式转换为动词-宾语的样式;文献[10]提出了一种活动标签样式的分类方法,用于将样式分为名词样式和动词-宾语的样式;文献[11]提出了一种方法,用于将活动标签样式

\* 基金项目:国家自然科学基金项目(61702442)

进一步细分。在提高业务流程模型的可维护性方面,文献[12]提出了一种用于提高流程模型库中流程模型可维护性的方法;文献[13]提出了一种识别低维护性模型的方法;文献[14]提出了11个业务流程模型的重构操作,用于提高模型的可维护性。与上述工作相比,本文工作的最大不同在于重点关注改进微流程模型的效率。

具体而言,本文提出了一种改进微流程模型效率的方法,主要贡献如下:(1)根据微流程模型的结构,提出了提取任务关系的算法;(2)从数据视角,提出了分析任务间数据依赖关系的算法。

## 1 微流程的建模

以Petri网为形式化基础<sup>[15]</sup>,本文采用文献[2]提出的带数据的工作流网(WorkFlow net with Data,DWF-net)对微流程进行建模。

**定义1(工作流网)**<sup>[16]</sup> 工作流网是一个6元组  $WF\text{-net}=(P, T; F, M, i, o)$ , 其中:

- (1)  $P \cup T \neq \emptyset \wedge P \cap T = \emptyset$ ,  $P$  为库所集,  $T$  为任务集;
- (2)  $F \subseteq (P \times T) \cup (T \times P)$  是流关系;
- (3) 映射  $M: P \rightarrow (0, 1, \dots)$  表示工作流网的标识;
- (4)  $i \in P$  表示输入库所;
- (5)  $o \in P$  表示输出库所;
- (6) 每一个节点  $x \subseteq P \cup T$  都位于从  $i$  到  $o$  的一条路径上。

**定义2(微流程)** 微流程是一个9元组  $MP=(P, T; F, D, I, O, M, i, o)$ , 其中:

- (1)  $WF\text{-net}=(P, T; F, M, i, o)$  为工作流网;
- (2)  $D$  为  $WF\text{-net}$  操作的数据集;
- (3)  $I: D \rightarrow 2^T$  输入函数, 描述任务的输入数据;
- (4)  $O: D \rightarrow 2^T$  输出函数, 描述任务的输出数据。

在微流程的图形化表示中,本文用圆圈表示库所,用方框表示任务,用有向线段表示流关系。

以文献[4]中的在线购物为例,图1使用定义了微流程模型。首先,麦基通过互联网在线订购商品(任务A),任务A的输出是商店地址(变量m)和买家的地址(变量n)。其次,买家可以选择自取或邮寄来提取货物。如果买家选择自取方式(任务B),他根据商店地址(变量m)到商店提货(变量o)。在收到货物(任务C)后,买家将收到卖家的收据(变量q)。另一种情况,如果卖家选择邮寄方式,

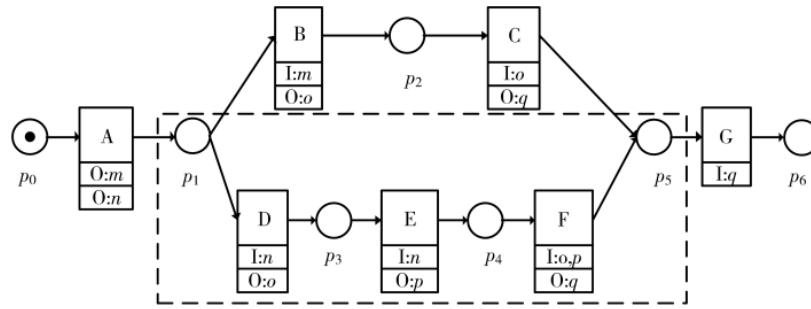


图1 在线购物微流程

卖家需要准备货物(任务D),并确保货物将邮寄到正确的买家地址(变量n)。为此,卖家将联系快递员(任务E),货物将被包装上买家地址(变量n),同时生成跟踪号(变量p)。快递员交付(任务F)包裹给买家(变量o和变量p),买家接收货物和收据(变量q)。在货物和收据(变量q)检查无误后,买方确认接收货物(任务G),交易成功结束。

对于图1所示的线购物微流程模型,从控制流视角,任务D和任务E是串行执行的。但是,从数据视角,由于任务D和E没有任何数据依赖,故而,它们可以并行执行。

针对上述分析,从提高模型执行效率的角度,本文对图1所示流程模型进行改进,使得模型中没有数据依赖的任务都并行执行。

**定义3(任务发生规则)** 微流程9元组  $MP=(P, T; F, D, I, O, M, i, o)$ , 并具有下述的任务发生规则:

- (1) 对于任务  $t \in T$ , 如果  $\forall p \in *t: M(p) \geq 1$ , 则说明任务  $t$  在标识  $M$  有发生权, 记为  $M[t]$ ;
- (2) 若  $M[t]$ , 则表示在标识  $M$  下, 任务  $t$  可以发生, 发生后得到一个新标识  $M'$ , 记为  $M'[t > M]$ ,  $\forall p \in P$ , 满足:
  - ① 若  $p \in *t - t^*$ , 则  $M'(p) = M(p) - 1$ ;
  - ② 若  $p \in t^* - *t$ , 则  $M'(p) = M(p) + 1$ ;
  - ③ 其他, 则  $M'(p) = M(p)$ 。
- (3) 通常用  $M_0$  表示初始标识;
- (4) 一个任务发生序列  $\sigma = t_0, t_1, \dots, t_{n-1}$  使从初始标识  $M_0$  到达标识  $M_n$ , 可标记为  $M_0 \xrightarrow{\sigma} M_n$ 。

## 2 效率改进的流程

图2直观描述了本文所提改进流程的步骤,具体包含4个步骤:提取任务关系、分析数据关系、更新任务关系、重构模型。

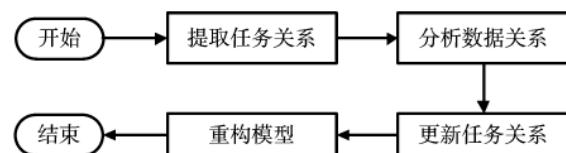


图2 效率改进的流程图

### 2.1 提取任务关系

根据微流程模型的结构,算法1描述了如何提取任务关系。由文献[2]、[4]、[5]可知,流程模型中任务关系可细分为3种关系:顺序( $\rightarrow$ )、选择( $\#$ )和并行( $\parallel$ )。

#### 算法1: 提取任务关系算法

- 输入:  $MP=(P, T; F, D, I, O, M, i, o)$  是一个微流程模型  
输出: 关系矩阵  $RM$
- (1) for  $p \in P$  do
  - (2) for  $t_1 \in *p$  do
  - (3) for  $t_2 \in p^*$  do

(4) 在 **RM** 中设置  $t_1 \rightarrow t_2$   
 (5) for  $t_1 \in T$  do  
 (6) for  $t_2 \in T$  do  
 (7) if  $t_3 \in T$  是  $t_1$  和  $t_2$  的最近汇聚节点  $\wedge t_1 \neq t_3 \wedge t_2 \neq t_3$  then

(8) 在 **RM** 中设置  $t_1 \# t_2$   
 (9) for  $t_1 \in T$  do  
 (10) for  $t_2 \in T$  do  
 (11) if  $t_1$  和  $t_2$  不是  $\rightarrow \wedge t_1$  和  $t_2$  不是  $\#$  then  
 (12) 在 **RM** 中设置  $t_1 \parallel t_2$

需要说明的是, 算法 1 中的  $*_p$  和  $p^*$  分别表示库所的前集和后集, 具体定义为: 对于任一节点  $x \in X = P \cup T$ ,  $*x = \{y \in X | (y, x) \in F\}$ ,  $x^* = \{y \in X | (x, y) \in F\}$ 。

令  $m$  和  $n$  分别表示微流程模型中库所和任务的个数, 则算法 1 的最坏时间复杂度为:  $O(m^3)$ 。

## 2.2 分析数据关系

分析数据关系是指检测两个任务间是否存在数据依赖关系。由文献[4]、[5]可知, 数据依赖关系可细分为 3 种关系: 直接数据依赖( $\delta^d$ )、间接数据依赖( $\delta^i$ )和输出数据依赖( $\delta^o$ )。

根据任务的输入和输出, 算法 2 描述了如何分析数据依赖。

### 算法 2: 分析数据依赖算法

输入:  $MP = (P, T; F, D, I, O, M, i, o)$  是一个微流程模型

输出: 数据关系矩阵 **DM**

(1) for  $t_1 \in T$  do  
 (2) for  $t_2 \in T$  do  
 (3) if  $O(t_1) \cap I(t_2) \neq \emptyset$  then  
 (4) 在 **DM** 中设置  $t_1 \delta^d t_2$   
 (5) for  $t_1 \in T$  do  
 (6) for  $t_2 \in T$  do  
 (7) if  $O(t_2) \cap I(t_1) \neq \emptyset$  then  
 (8) 在 **DM** 中设置  $t_1 \delta^a t_2$   
 (9) for  $t_1 \in T$  do  
 (10) for  $t_2 \in T$  do  
 (11) if  $O(t_1) \cap O(t_2) \neq \emptyset$  then  
 (12) 在 **DM** 中设置  $t_1 \delta^o t_2$

令  $n$  表示微流程中任务的个数, 则算法 2 的最坏时间复杂度为:  $O(n^2)$ 。

## 2.3 更新任务关系

基于关系矩阵 **RM** 和数据关系矩阵 **DM**, 算法 3 描述了如何更新任务关系。其核心思想是如果两个任务是顺序关系, 但没有任何数据依赖关系, 则该顺序关系可以更新为并行关系, 以改进流程模型的效率。

### 算法 3: 更新任务关系算法

输入:  $MP = (P, T; F, D, I, O, M, i, o)$  是一个微流程模型, 关系矩阵 **RM** 和数据关系矩阵 **DM**

输出: 更新后的关系矩阵 **RM**

(1) for  $t_1 \in T$  do  
 (2) for  $t_2 \in T$  do  
 (3) if **RM** 中  $t_1 \rightarrow t_2 \wedge$  **DM** 中  $t_1$  与  $t_2$  没有任何数据依赖关系 then

(4) 在 **RM** 中设置  $t_1 \parallel t_2$

令  $n$  表示微流程中任务的个数, 则算法 3 的最坏时间复杂度为:  $O(n^2)$ 。

## 2.4 重构模型

针对算法 3 输出的更新后的关系矩阵 **RM**, 算法 4 借鉴  $\alpha$  算法<sup>[17]</sup>的思想, 描述了如何重构流程模型。其核心思想是如果任务间具有顺序关系, 则构建库所, 使得任务通过库所相连。

### 算法 4: 重构模型算法

输入: 关系矩阵 **RM**

输出:  $WF\text{-net} = (P, T; F, M, i, o)$

(1) for  $t_1 \in T$  do  
 (2) for  $t_2 \in T$  do  
 (3) if **RM** 中  $t_1 \rightarrow t_2$  then  
 (4)  $P = P \cup \{p_{12}\}$   
 (5)  $F = F \cup \{(t_1, p_{12})\} \cup \{(p_{12}, t_2)\}$   
 (6) for  $t_1 \in T$  do  
 (7) if  $*t_1 == \emptyset$  then  
 (8)  $P = P \cup \{i\}$   
 (9)  $F = F \cup \{(i, t_1)\}$   
 (10) if  $t_1^* == \emptyset$  then  
 (11)  $P = P \cup \{o\}$   
 (12)  $F = F \cup \{(t_1, o)\}$

令  $n$  表示微流程中任务的个数, 则算法 4 的最坏时间复杂度为:  $O(n^2)$ 。

## 3 实验

### 3.1 工具

本文采用开源工具 PIPE(Platform Independent Petri net Editor)对微流程进行建模。PIPE<sup>[18]</sup>是一个开源的 Petri 网建模和分析工具, 被学术界广泛使用。

图 1 所示在线购物微流程在 PIPE 工具的建模实现如图 3 所示。图 4 描述了改进后的在线购物微流程在 PIPE 工具中的建模实现。

### 3.2 实验结果

本文的实验数据集来源于 BPM AI 过程模型库。BPM AI 中有学术界和工业界创建的大量真实流程模型, 共计 400 多个。表 1 给出了部分实验结果。

为了度量微流程模型的并行度, 本文基于文献[2]中的任务出度, 提出了并行度 CD:

$$CD = \sum_{d_{out}(t) > 1} d_{out}(t) - 1 \quad (1)$$

其中,  $d_{out}(t)$  表示任务  $t$  的出度。

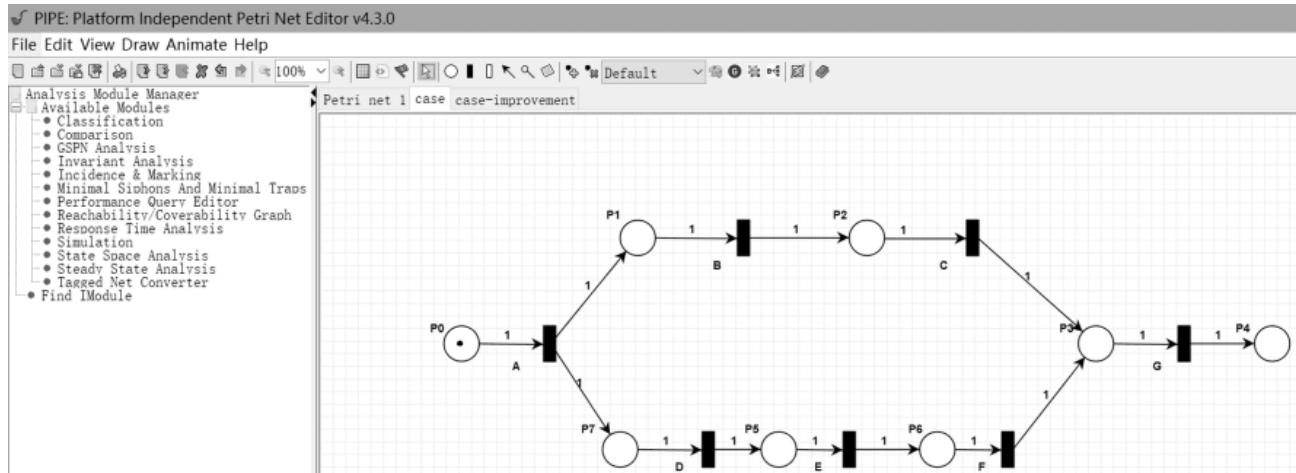


图 3 在线购物微流程的建模实现截图

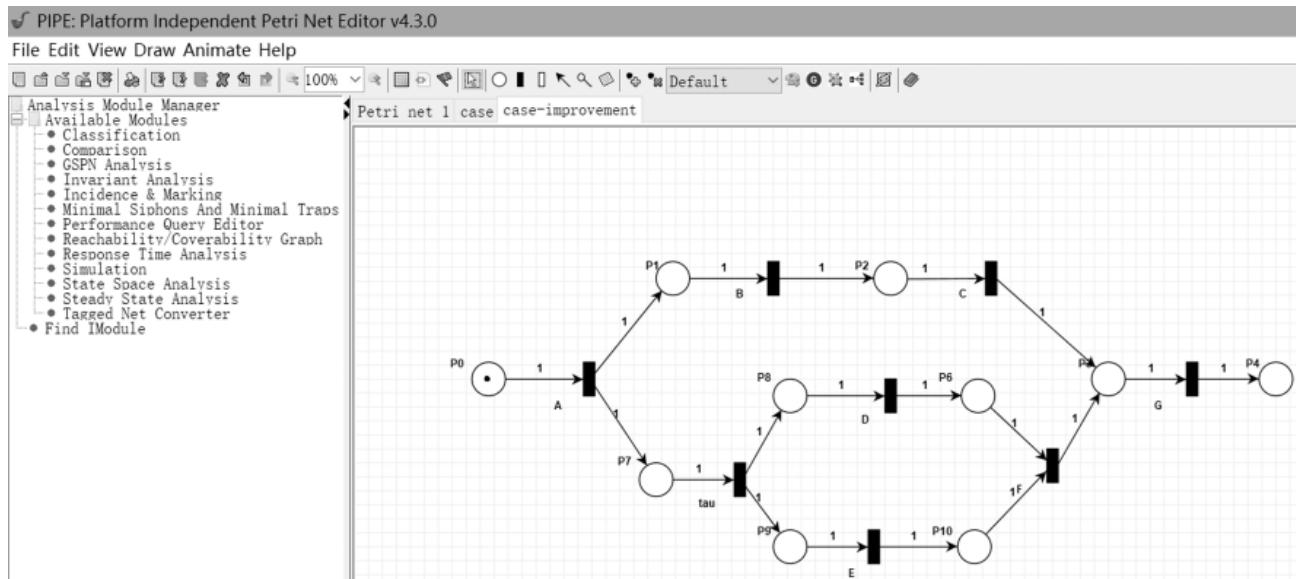


图 4 改进后在线购物流程建模实现截图

表 1 部分实验结果

编号	改进前微流程模型		改进后微流程模型	
	节点数	并行度	节点数	并行度
case-01	15	1	18	1
case-03	54	3	73	4
case-20	42	3	42	3
case-35	61	2	61	4
case-37	105	0	121	5
case-50	18	1	18	2
case-70	42	2	42	2
case-82	46	4	46	6
case-100	34	1	42	3
case-205	13	2	13	2

表 1 第 1 列为编号, 第 2 列为改进前微流程模型的节点数和并行度, 第 3 列为改进后微流程模型的节点数和并行度。

从表 1 可知:(1)案例 case-20 和 case-70 改进前后并行度不变, 说明这两个流程模型中有顺序关系的任务也有数据依赖关系;(2)案例 case-01、case-03、case-37 和 case-100 改进前后并行度和节点数均增大, 说明在提高这些流程模型并行度的同时, 也增加了节点数;(3)案例 case-35、case-70、case-82 和 case-205 改进前后并行度增大, 说明在提高这些流程模型并行度的同时, 这些流程模型中存在有顺序关系的任务没有数据依赖关系。

#### 4 结论

为提高微流程模型的质量, 本文使用带数据的工作流网, 提出了一种改进微流程模型效率的方法。该方法通过提取任务关系、分析数据依赖、更新任务关系和重构模型 4 个步骤, 将流程模型中无数数据依赖关系的任务间的顺序关系更新为并发关系, 以提高模型的效率。实验结果表明了该方法的有效性。

## 参考文献

- [1] SMITH H ,FINGAR P. Business process management : the third wave [M]. Tampa : Meghan-Kiffer Press , 2003.
- [2] JIN T ,WANG J ,YANG Y , et al. Refactor business process models with maximized parallelism [J]. IEEE Transactions on Services Computing , 2016 , 9(3) : 456–468.
- [3] 代飞 , 赵文卓 , 杨云 , 等 . BPMN2.0 编排的形式语义和分析 [J]. 软件学报 , 2018 , 29(4) : 1094–1114.
- [4] DAI F ,MO Q ,LI T , et al. Refactoring business process models with process fragments substitution [J]. Wireless Networks , 2020(4) : 02367.
- [5] DAI F ,LIU M ,MO Q , et al. Refactor business process models for efficiency improvement [C]// Proceedings of the Conference on Cloud Computing, Smart Grid and Innovative Frontiers in Telecommunications(CloudComp 2019 , SmartGift 2019) , 2019 , 322 : 454–467.
- [6] FERNANDEZ – ROPERO M , PEREZ – CASTILLO R , PIATTINI M. Refactoring business process models a systematic review [J]. Information Systems , 2012 , 37(5) : 443–459.
- [7] LEOPOLD H ,MEILICKE C ,FELLMANN M , et al. Towards the automated annotation of process models [C]// Proc. of the International Conference on Advanced Information Systems Engineering. Springer International Publishing , 2015 : 401–416.
- [8] MENDLING J ,REIJERS H A ,VAN DER AALST W M P . Seven process modeling guidelines(7PMG) [J]. Information and Software Technology , 2010 , 52(2) : 127–136.
- [9] LEOPOLD H ,SMIRNOV S ,MENDLING J. Refactoring of process model activity labels [C]// Proc. of the International Conference on Application of Natural Language to Information Systems. Springer Berlin Heidelberg , 2010 : 268–276.
- [10] LEOPOLD H ,SMIRNOV S ,MENDLING J. Recognising activity labeling styles in business process models [J]. Enterprise Modelling and Information Systems Architectures , 2015 , 6(1) : 16–29.
- [11] LEOPOLD H ,SMIRNOV S ,MENDLING J. On the refactoring of activity labels in business process models [J]. Information Systems , 2012 , 37(5) : 443–459.
- [12] LA ROSA M ,REIJERS H A ,VAN DER AALST W M P , et al. APROMORE : an advanced process model repository [J]. Expert Systems with Applications , 2011 , 38(6) : 7029–7040.
- [13] WEBER B ,REICHERT M ,MENDLING J , et al. Refactoring large process model repositories [J]. Computers in Industry , 2011 , 62(5) : 467–486.
- [14] DIJKMAN R ,GFELLER B ,KÜSTER J , et al. Identifying refactoring opportunities in process model repositories [J]. Information and Software Technology , 2011 , 53(9) : 937–948.
- [15] 代飞 , 莫启 , 林雷蕾 , 等 . 一种多视角的跨组织业务过程建模方法 [J]. 计算机集成制造系统 , 2015 , 21(11) : 3001–3016.
- [16] 张曼 , 段振华 , 王小兵 . 自由选择工作流网的可靠完备化简规则集 [J]. 软件学报 , 2013 , 24(5) : 993–1005.
- [17] VAN DER AALST W M P ,WEIJTERS T ,MARUSTER L. Workflow mining : discovering process models from event logs [J]. IEEE Trans. Knowl. Data Eng. , 2004 , 16(9) : 1128–1142.
- [18] DINGLE N J ,KNOTTENBELT W J ,SUTO T. PIPE2 : a tool for the performance evaluation of generalised stochastic Petri Nets [J]. ACM Sigmetrics Performance Evaluation Review , 2009 , 36(4) : 34–39.

(收稿日期 : 2020-12-08)

(上接第 84 页)

- ondary path modelling in active vibration control systems [J]. The Journal of Engineering , 2019(13) : 24–27.
- [9] 原凯 , 张忠 , 秦朝红 , 等 . 基于改进 FxLMS 算法的空间噪声主动控制研究 [J]. 强度与环境 , 2019 , 46(5) : 35–40.
- [10] 李雪蕊 , 林云 . 基于指数函数的变步长仿射投影符号算法 [J]. 通信技术 , 2019 , 52(2) : 286–290.
- [11] Sun Jinwei ,Huang Boyan ,Wei Guo , et al. Improved variable step size(IVSS) LMS for active noise control system [C]// 2009 ICCAS-SICE. IEEE , 2009.
- [12] 吴哲 , 倪卫明 . 基于自适应辅助噪声功率控制的噪声抑制算法研究 [J]. 微型电脑应用 , 2017 , 33(2) : 41–45.
- [13] 袁军 , 刘东旭 , 唐晓斌 , 等 . ANC 系统中对次级通道最优变步长算法的研究 [J]. 自动化与仪表 , 2019 , 34(1) : 74–78 , 83.
- [14] 张帅 , 王岩松 , 郭辉 , 等 . 基于 FxLMS 的汽车车内噪声变

作者简介 :

施正香(1990–), 女 , 本科 , 工程师 , 主要研究方向 : 主站自动化。



扫码下载电子文档

步长主动均衡算法 [J]. 声学技术 , 2019 , 38(5) : 574–579.

- [15] 陈智 . 基于 FxLMS 算法的前馈式自适应有源噪声控制系统建模与仿真 [J]. 自动化与仪表 , 2018(5) : 10–13.

- [16] 孙文豪 , 张锋 , 汪涵 , 等 . 应用 SOFxLMS 算法的振动主动控制 MATLAB 仿真 [J]. 华侨大学学报(自然科学版) , 2017 , 38(6) : 779–785.

(收稿日期 : 2020-11-10)

作者简介 :

钱拴(1993–), 男 , 硕士研究生 , 主要研究方向 : 主动降噪控制系统、数字电路设计。

高健珍(1995–), 女 , 硕士研究生 , 主要研究方向 : FPGA 设计、数字图像处理。

代永平(1968–), 通信作者 , 男 , 博士 , 副教授 , 主要研究方向 : 数模混合集成电路设计、LCOS 驱动显示电路 , E-mail : daiyp@nankai.edu.cn 。



扫码下载电子文档

## 版权声明

经作者授权，本论文版权和信息网络传播权归属于《电子技术应用》杂志，凡未经本刊书面同意任何机构、组织和个人不得擅自复印、汇编、翻译和进行信息网络传播。未经本刊书面同意，禁止一切互联网论文资源平台非法上传、收录本论文。

截至目前，本论文已经授权被中国期刊全文数据库（CNKI）、万方数据知识服务平台、中文科技期刊数据库（维普网）、DOAJ、美国《乌利希期刊指南》、JST 日本科技技术振兴机构数据库等数据库全文收录。

对于违反上述禁止行为并违法使用本论文的机构、组织和个人，本刊将采取一切必要法律行动来维护正当权益。

特此声明！

《电子技术应用》编辑部

中国电子信息产业集团有限公司第六研究所