

基于 Petri 网行为紧密度的业务流程配置优化分析

高雅楠 方贤文 王丽丽

(安徽理工大学数学与大数据学院 淮南 232001)

摘 要 业务流程优化分析是业务流程管理的重要内容之一,存在配置信息的优化分析显得尤为重要。已有研究主要集中在业务流程优化分析,但对于存在配置信息的业务流程优化则存在不足。对业务流程配置优化分析进行了研究,提出了日志与业务流程 Petri 网模型的紧密度计算方法以及基于行为紧密度的业务流程配置优化分析方法。首先根据给定事件日志的执行序列及实例数建立初始模型,计算初始模型与剩余日志的紧密度,利用紧密度大的日志优化初始模型;然后引进配置变迁对初步优化后的模型进行进一步优化;最后通过一个简单的实例说明了该方法的可行性。

关键词 业务流程, Petri 网, 事件日志, 行为紧密度, 配置, 优化分析

中图法分类号 TP391.9 **文献标识码** A

Optimized Analysis of Business Process Configuration Based on Petri Net Behavior Closeness

GAO Ya-nan FANG Xian-wen WANG Li-li

(School of Mathematics and Big Data, Anhui University of Science and Technology, Huainan 232001, China)

Abstract The optimized analysis of business process is an important content of business process management, especially the optimized analysis with the business process configuration. The existing research mainly focuses on the business process optimized analysis, but there are some obvious deficiencies for some business processes configuration optimized analysis. Business process configuration optimization analysis was studied. The closeness calculation method of log and business process Petri net model was proposed, on the basis of that, an approach of business process configuration optimization analysis based on behavior closeness was put forward. First of all, the initial model was established according to the number of a given event log and the execution sequence. The closeness of initial model and the residual log were used to optimize the initial model. And then, configurable transitions were brought in to further optimize the model. At last, the feasibility of this approach was illustrated through the simple instance.

Keywords Business process, Petri nets, Event log, Behavior closeness, Configuration, Optimized analysis

1 引言

在业务流程领域,业务流程优化分析是在业务流程建模过程中提出来的。已有的研究主要集中在业务流程优化分析上,但对于存在配置信息的业务流程优化则存在不足。在优化业务流程的过程中,不仅需要对其语义、语法进行分析,还要对其结构和行为进行分析。尽管一般的业务流程模型是好的模型,但配置信息可以阻塞变迁发生、隐藏变迁发生和允许变迁发生,需要验证带配置信息的业务流程模型的正确性,因此业务流程配置优化分析显得尤为重要。

关于配置优化方面的研究,文献[1]基于现有的一些建模语言提出了可配置的建模语言,其可以应用到可配置的流程模型的建模中,如 C-EPCs, C-SAP, C-BPEL。文献[2]在假定配置流程模型是行为合理的情况下,提出了 allowed(允许)变迁、hidden(隐藏)变迁、blocked(阻塞)变迁。文献[3]提出了一种可以通过合作伙伴确保流程配置过程正确性的方法。文献[4]在流程设计初期对流程模型进行不同级别的配置,从而对业务流程模型进行优化。文献[5]通过配置和定制化服务,

使单一的业务流程重用。文献[6]通过应用配置对业务流程的活动、资源和数据对象进行不同的设置,从而满足个别客户的任务需求。文献[7]提出了通过配置可以降低业务流程理解的复杂度的方法。文献[8]提出了一种考虑输入模型的不确定性,对多目标函数、资源和控制流进行优化的方法。对于可配置的业务流程模型,不正确的配置可能会导致行为异常问题,文献[9]提出了一种基于本体论的语义验证方法,这种方法能对可配置的业务流程模型进行进一步的验证。文献[10]提出了一种基于数据流的可配置的业务流程模型的验证方法,通过处理数据语义对可配置的业务流程模型进行验证。

本文第2节介绍了相关的基本定义;第3节提出了行为距离向量以及行为紧密的概念;第4节提出了一个优化业务流程的算法;第5节应用实例说明了该方法的可行性;最后总结全文。

2 基本概念

本节主要介绍与文章密切相关的业务流程 Petri 网及用于定义紧密度的 k 阶继承关系的定义,其他相关知识如日志

本文受国家自然科学基金(61572035, 61272153, 61402011),安徽省自然科学基金(1508085MF111),安徽省高校自然科学基金重点项目(KJ2014A067, KJ2016A208)资助。

高雅楠(1992—),女,硕士生,主要研究领域为 Petri 网, E-mail: 1730885684@qq.com; 方贤文(1975—),男,博士,教授,主要研究领域为 Petri 网、可信软件和服务计算; 王丽丽(1982—),女,讲师,主要研究领域为业务流程分析和软件认证。

的定义请参考文献[14]。

定义 1^[11] (业务流程 Petri 网) 一个网 $PN=(P, T; F)$ 是业务流程 Petri 网, 当其满足以下条件:

- (1) P 为库所集, 有 $P \neq \emptyset$;
- (2) T 为变迁集, 有 $T \neq \emptyset$;
- (3) $F=(P \times T) \cup (T \times P)$ 为流关系。

在业务流程模型 P 的变迁之间存在一种弱序关系, 即一对变迁 $(x, y) \in T \times T$ 是弱序关系, 当且仅当存在一个发生序列 $\sigma=t_1 t_2 \cdots t_n$ 有 $(P, M_0)[\sigma]$, 并且有 $i, j \in N, 1 \leq i \leq j \leq n$ 使得 $t_j=x, t_i=y$, 记作 $x \succ y$ 。根据弱行为轮廓定义模型的行为轮廓关系。

定义 2^[12] (模型的行为轮廓) 设 P 是一个流程模型, 对于 $\forall (x, y) \in P$, 则 x 与 y 的行为关系如下:

- (1) 严格序关系 $\rightarrow_P$, 若 $x \succ_P y \wedge y \not\succ_P x$, 记作 $x \rightarrow_P y$;
- (2) 交叉序关系 $\parallel_P$, 若 $x \succ_P y \wedge y \succ_P x$, 记作 $x \parallel_P y$;
- (3) 排他序关系 $+_P$, 若 $x \not\succ_P y \wedge y \not\succ_P x$, 记作 $x +_P y$;

则称集合 $B_P=\{\rightarrow_P, \parallel_P, +_P\}$ 是模型 P 的行为轮廓。

定义 3^[13] (k 阶继承关系) 设 $PN=(P, T; F)$ 为一个流程模型的 Petri 网, 则 $\sigma \in PN$ 中的变迁对之间的 k 阶继承关系 $\triangleright_k^q \subseteq T \times T$ 满足如下条件:

$x \triangleright_k^q y \Leftrightarrow \exists 1 \leq i \leq |\sigma| [\sigma(i)=x \wedge \sigma(i+k)=y]$, 其中, $k=1, 2, 3, \cdots$ 。

网 N 的 k 阶继承关系为 $\triangleright_k^N \subseteq T \times T$, 满足 $x \triangleright_k^N y \Leftrightarrow \exists \sigma \in \Sigma[x \triangleright_k^q y]$ 。

变迁对之间的 k 阶继承关系为 $\triangleright_k^q \subseteq T \times T$, 且满足: $x \triangleright_k^q y \Leftrightarrow \exists 1 \leq l \leq k, [x \triangleright_l^q y]$ 。当满足 $x \triangleright_k^q y \Leftrightarrow x \triangleright_k^q y \wedge (x, y) \notin \triangleright_{k-1}^q$, 则称为最小 k 阶继承关系, 记作: $\triangleright_k^q$ 。

对比模型之间的对应变迁集, 可以定义日志与模型的对应变迁集, 即 $T \sim = \{t \in l_i \mid \exists t' \in T[t \sim t']\}$, 日志 l_i 中的变迁 t 对应到模型中的变迁 t' 的集合。

3 Petri 网行为紧密度计算方法

行为紧密度是本文提出的一个新概念, 是检测模型行为关系是否符合日志行为关系的评价标准。通过计算模型与日志的紧密度, 可以得到模型更符合哪个日志的行为关系, 根据这个日志即可调整模型, 使模型尽可能地与日志的行为关系更接近。

下面给出 7 个活动的一组日志 $\{ABDEG, ACDEF, AD-BEG, ADCEG\}$, 活动表中 $N(x, y)=n$ 表示 xy 形式在事件日志中出现 n 次, 则根据 7 个活动的执行日志, 可以建立如表 1 所列的活动表。

表 1 活动关系表

	A	B	C	D	E	F	G
A	0	1	1	2	0	0	0
B	0	0	0	1	1	0	0
C	0	0	0	1	1	0	0
D	0	1	0	0	2	0	0
E	0	0	0	0	0	0	1
F	0	0	0	0	0	0	0
G	0	0	0	0	0	0	0

根据上面 7 个活动的活动表可以得到日志的弱行为轮廓:

(1) 严格序关系 $\rightarrow_L$, 若 $N(x, y) \neq 0 \wedge N(x, y) = 0$, 记作 $x \rightarrow_L y$;

(2) 交叉序关系 $\parallel_L$, 若 $N(x, y) \neq 0 \wedge N(x, y) \neq 0$, 记作

$x \parallel_L y$;

(3) 排他序关系 $+_L$, 若 $N(x, y) = 0 \wedge N(x, y) = 0$, 记作 $x +_L y$ 。

集合 $B_L=\{\rightarrow_L, \parallel_L, +_L\}$ 是事件日志 L 的弱行为轮廓。

在表 1 中, 因为 $N(A, B)=1 \neq 0 \wedge N(B, A)=0$, 所以 A 和 B 为严格序关系; 因为 $N(B, D) \neq 0 \wedge N(D, B)=1 \neq 0$, 所以 B 和 D 为交叉序关系; 因为 $N(B, C)=0 \wedge N(C, B)=0$, 所以 B 和 C 是排他序关系。

定义 4 (日志距离向量) 设一条事件日志 $L=(l_1, l_2, \cdots, l_n)$, 将 $\forall (l_1, l_2) \in L, \forall (t_1, t_2) \in l_i$ 的日志行为值 $V_L(t_1, t_2)$ 定义为: $V_L(t_1, t_2)=1$ 。日志的行为距离向量则为:

$$X=\{V_L(t_1, t_2), V_L(t_2, t_3), \cdots, V_L(t_i, t_j), \cdots, V_L(t_j, t_m)\} \\ =\{d_1, d_2, \cdots, d_j, \cdots, d_m\}$$

类似地, 可以定义模型的行为值为 $V_P(t_1, t_2)=k$ 。模型的行为距离向量定为:

$$X=\{V_P(t_1, t_2), V_P(t_2, t_3), \cdots, V_P(t_i, t_j), \cdots, V_P(t_j, t_m)\} \\ =\{k_1, k_2, \cdots, k_j, \cdots, k_m\}$$

其中, m 是变迁的个数, 即 $m=|T|$ 且 $0 < j \leq m, k_i$ 为模型中与日志对应变迁之间的最小 k 阶继承关系。

在根据日志优化业务流程的过程中, 首先根据频数较高的日志得到初始流程模型, 然后在合理性 $fitness > 0.9$ 的情况下计算模型与其余日志的行为紧密度, 最后再配置业务流程模型。因此可以定义模型合理性为:

$$fitness = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^n a_i s_i}{\sum_{i=1}^n a_i c_i} \right) + \frac{1}{2} \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^n a_i w_i}{\sum_{i=1}^n a_i p_i} \right)$$

其中, m 为给定日志中的不同轨迹数, a_i 为第 i 类轨迹中所含的实例数, s_i 为第 i 类轨迹中缺少的标识数, w_i 为第 i 类轨迹中遗留的表示数, c_i 为第 i 类轨迹中消耗的标识数, p_i 为第 i 类轨迹中产生的表示数。

定义 5 (行为紧密度) 已知事件日志 L , 流程模型 P , 则日志 L 与流程模型 P 的行为紧密度定义为:

$$\xi(L, M) = \frac{\sum_{i=1}^m d_i \times k_i}{\sqrt{(\sum_{i=1}^m d_i^2) \times (\sum_{i=1}^m k_i^2)}}$$

其中, m 代表日志中的活动行为关系数, k_i 为模型中与日志对应变迁之间的最小行为距离, d_i 为日志行为距离值。

4 基于行为紧密度的业务流程配置优化分析

4.1 相关配置优化的知识

一个业务流程模型的集合是一个可配置的业务流程模型, 即一个业务流程模型能够通过配置信息根据特定的要求进行定制。配置信息包括隐藏、阻塞和允许, 通过隐藏或阻塞流程模型的某一部分配置流程模型, 对模型需要的行为进行选择, 隐藏或阻塞不需要的行为。对于一般的 BPM 流程来说, 可配置的流程模型可以看作是添加一些“内容”到系统中。建立的一般流程模型反映不出一些企业或组织想要的状态和信息, 在此基础上加入阻塞或隐藏的内容对业务流程进行定制化, 使模型得到优化。

在支付过程中, 对于信用度低的顾客, 在支付时只能选择

全额支付。针对这样的情况,就可以在业务流程中通过添加配置信息来实现信用度低的顾客只能全额支付的功能,如图 1 所示。

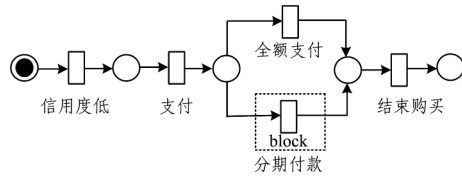


图 1 信用度低的顾客的支付流程

4.2 基于行为紧密度的业务流程配置优化算法

(1) 为了避免重复,首先处理所有的事件日志 $L_i, i=1, 2, 3, \dots, n$, 即合并相同的事件日志。

(2) 针对频数较高的日志,分析它们的行为轮廓关系,根据定义建立活动关系表,根据建立的活动关系表建立初始模型 M_0 。

(3) 在合理性 $fitness(M_0) > 0.9$ 的情况下,得到与日志中活动对应的模型中变迁的最小行为距离向量,根据定义计算与模型行为轮廓关系存在差异的日志与模型 M_0 的行为紧密度 ξ 。

(4) 若存在行为差异的日志多于 1 个,则比较每个日志与模型的行为紧密度 ξ 的值,根据具有行为紧密度最大值的日志调整模型 M_0 ,得到模型 M_1 。

(5) 对于模型 M_1 ,通过添加配置信息调整模型 M_1 得到模型 M_2 ,计算模型 M_2 与其余日志的行为紧密度。若 $\xi \geq 0.90$,则 M_2 为最优模型,算法结束;若 $\xi < 0.90$,则重复步骤(5)。

(6) 若只有一个存在行为差异的日志,则计算日志与模型 M_0 的行为紧密度,若 $\xi \geq 0.90$,则根据这个日志调整模型得到模型 M_1 ,算法结束;否则,执行步骤(7)。

(7) 对模型 M_1 添加配置信息得到模型 M_2 ,计算模型 M_2 与其行为紧密度,若 $\xi \geq 0.90$,则 M_1 为最优模型,算法结束;否则重复步骤(7)。

5 实例分析

通过一个实例来验证上述方法的可行性。给定 4 个执行日志,各个执行日志的轨迹以及实例数如表 2 所列。

表 2 执行日志列表

日志 L_1		日志 L_2	
实例	日志轨迹	实例	日志轨迹
3428	ABGEF	2012	ABGEF
1246	ABCDEF	968	ABCDEF
245	AHIGJKF	286	AHIGJKF
200	AHGIJKF	26	ABGF
日志 L_3		日志 L_4	
实例	日志轨迹	实例	日志轨迹
1205	AHIGJKF	224	ABCDEF
21	AHIGJKF	156	AHIGJKF
15	BGEF	34	BCDE
3	AHKF	12	HGKF

合并后的日志轨迹以及实例数为: $\{ABGEF(5440), ABCDEF(2438), AHIGJKF(1606), AHGIJKF(486), BCDE(34), ABGF(26), BGEF(15), HGKF(12), AHKF(3)\}$ 。

根据日志轨迹中频数较高的日志(取 3 个)建立活动之间的活动关系表,如表 3 所列。

表 3 活动关系表

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
A	0	2	0	0	0	0	0	1	0	0	0
B	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0
C	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
D	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
E	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0
F	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
G	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
H	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
J	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
K	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0

根据上述活动关系表得到活动之间的行为轮廓表,如表 4 所列。活动表中用 $\rightarrow$ 代表 $\rightarrow_L$, 用 $+$ 代表 $\rightarrow_L$ 。

表 4 活动间的行为轮廓表

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
A		$\rightarrow$						$\rightarrow$			
B			$\rightarrow$				$\rightarrow$	+			
C				$\rightarrow$			+				
D					$\rightarrow$		+				
E						$\rightarrow$					
F							$\rightarrow$				
G			+	+	$\rightarrow$						$\rightarrow$
H									$\rightarrow$		
I										$\rightarrow$	
J							$\rightarrow$				
K											$\rightarrow$

在表 4 中得到了执行日志频数较高的日志中变迁之间的行为轮廓关系,根据所得的行为轮廓关系创建的初始模型 M_0 如图 2 所示。

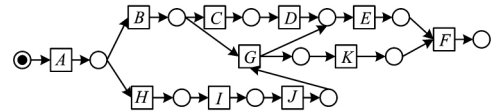


图 2 初始模型 M_0

计算模型 M_0 的合理性 $fitness(M_0) \approx 0.9137 > 0.9$, 观察到,在剩余日志中与模型存在行为差异的日志有两个,则根据算法分别计算模型 M_0 与这两个日志之间的行为紧密度。

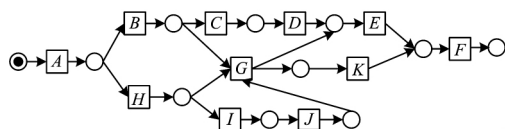
观察发现,与模型 M_0 行为轮廓关系存在差异的日志是 $AHGIJKF(486)$ 和 $HGKF(12)$,因为在模型 M_0 中 $I \rightarrow G$ 且 H 与 G 没有直接依赖关系,而在日志 $AHGIJKF(286)$ 中 $G \rightarrow^{-1} I$ 且 $H \rightarrow G$;在模型 M_0 中 H 与 G 没有直接依赖关系,而在日志 $HGKF(12)$ 中, $H \rightarrow G$ 。

下面分别计算模型 M_0 与这两个日志的行为紧密度 ξ_1 , ξ_2 和 ξ_3 , 日志 $AHGIJKF(286)$ 的行为距离向量 $X_1 = (1, 1, 1, 1, 1, 1)$, $HGKF(12)$ 的行为距离向量 $X_3 = (1, 1, 1)$, 模型 M_0 的对应变迁的最小行为距离向量 $X_1' = (1, 3, 0, 1, 2, 1)$, $X_3' = (3, 1, 1)$, 根据公式得到:

$$\xi_1 = \frac{1 \times 1 + 1 \times 3 + 1 \times 0 + 1 \times 1 + 1 \times 2 + 1 \times 1}{\sqrt{(1^2 + 1^2 + 1^2 + 1^2 + 1^2 + 1^2) \times (1^2 + 3^2 + 0^2 + 1^2 + 2^2 + 1^2)}} \approx 0.817$$

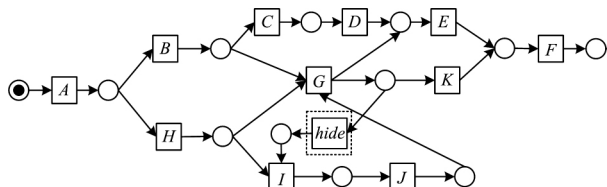
$$\xi_2 = \frac{1 \times 3 + 1 \times 1 + 1 \times 1}{\sqrt{(1^2 + 1^2 + 1^2) \times (3^2 + 1^2 + 1^2)}} \approx 0.870$$

由于 $\xi_1 < \xi_2$, 则根据 ξ_2 调整后的模型如图 3 所示。

图 3 调整模型 M_1

对于调整后的模型, 计算模型 M_1 与日志 AHGIJKF (486) 的行为紧密度 $\xi \approx 0.866$; 显然, 对于日志 AHGIJKF (486), 模型 M_1 还不是优化的模型。

上述通过模型 M_0 与日志的行为紧密度进行调整, 得到了优化的模型 M_1 , 但这不是最优的模型, 因此还需要继续调整模型 M_1 , 调整后的模型为带配置信息的模型 M_2 , 如图 4 所示。

图 4 模型 M_2

计算模型 M_2 与日志 AHGIJKF (486) 的行为紧密度 $\xi \approx 0.94 > 0.90$, 根据算法可知模型 M_2 是最终优化后的模型。

结束语 本文基于模型与日志的紧密度对业务流程模型进行优化分析, 首先通过频数较高的日志建立初始模型, 由于不是全部的日志, 因此初步建立的模型可能会存在差异, 需要对模型进行优化分析。本文通过计算模型与剩余的与模型存在行为差异的日志的行为紧密度来优化业务流程模型, 并通过配置变迁进一步优化模型, 最后用一个实例说明了业务流程优化方法是可行的。

虽然对业务流程优化得到了较符合日志的模型, 但还是存在一些问题, 如何找到添加配置变迁的位置将是下一步工作的重点。

参 考 文 献

- [1] WEBER B, REICHERT M, MENDING J, et al. Refactoring large process model repositories [J]. Computers in Industry, 2011, 62(5): 467-486.
- [2] VAN DER ALST W M P, DUMAS M, GOTTSCHALK F, et al. Preserving correctness during business process model con-

figuration[J]. Formal Aspects of Computing, 2010, 22(3-4): 459-482.

- [3] VAN DER ALST W M P, LOHMANN N, ROSA M L. Ensuring Correctness during Process Configuration via Partner Synthesis[J]. Information Systems, 2012, 37(6): 574-592.
- [4] REIJERS H A, MENDING J, DIJKMAN R M. Human and automatic modularization of process models to enhance their comprehension[J]. Information Systems, 2011, 36(5): 881-897.
- [5] YOUSFI A, SAIDI R, DEY A K. Variability patterns for business processes in BPMN[M]. Springer-verlag New York, Inc. 2016.
- [6] BOURNE S, SZABO C, SHENG Q Z. Managing Configurable Business Process as a Service to Satisfy Client Transactional Requirements[C]// 2015 IEEE International Conference on Services Computing (SCC). IEEE, 2015: 154-161.
- [7] GRUHN V, LAUE R. Reducing the cognitive complexity of business process models[C]// The 8th IEEE International Conference on Cognitive Informatics (ICCI). 2009: 339-345.
- [8] JIMÉNEZ-RAMÍREZ A, WEBER B, BARBA I, et al. Generating optimized configurable business process models in scenarios subject to uncertainty[J]. Information and Software Technology, 2015, 57: 571-594.
- [9] HUANG Y, FENG Z. A Validation Method of Configurable Business Processes Based on Data-Flow[C]// Service-Oriented Computing-ICSOC 2014 Workshops. Springer International Publishing, 2015: 323-335.
- [10] GRUHN V, LAU E R. Reducing the cognitive complexity of business process models [C]// The 8th IEEE International Conference on Cognitive Informatics (ICCI). 2009: 339-345.
- [11] 吴哲辉. Petri 网理论[M]. 北京: 机械工业出版社, 2006: 6-42.
- [12] WEIDLICH M, POLYVYANYYY A, DESAI N, et al. Process compliance measurement based on behavioral profiles[C]// International Conference on Advanced Information Systems Engineering. Springer Berlin Heidelberg, 2010: 499-514.
- [13] KUNZE M, WEIDLICH M, WESKE M. Querying process models by behavior inclusion [J]. Software & Systems Modeling, 2015, 14(3): 1105-1125.
- [14] WEIDLICH M, POLYVYANYYY A, DESAI N, et al. Process compliance measurement based on behavioural profiles[C]// International Conference on Advanced Information Systems Engineering. Springer Berlin Heidelberg, 2010: 499-514.

(上接第 514 页)

数据的展示方面, 也可以结合 B/S 模式的 OLAP 分析, 提供更直观的展示效果。最后, 对于无线电监测, 不明信号的发现是一个至关重要的问题, 现阶段的数据仓库系统在考虑的因素方面仍存在不足, 在接下来的开发过程中需要进一步地对其进行完善, 更好地为无线电监测中的决策问题提供支持。

参 考 文 献

- [1] INMON WH. 数据仓库[M]. 王志海, 译. 北京: 机械工业出版社, 2006.
- [2] 周渝霞, 刘道践, 郝玉清. 基于 Oracle 的 OLTP 与 OLAP 数据库设计及其实现[J]. 电脑编程技巧与维护, 2012(10): 29-31.
- [3] 左翔, 姜文彪. 分布式数据库系统的设计与优化[J]. 赤峰学院学报, 2012, 28(10): 20-21.

- [4] 顾玮. 分布式数据库技术在教务管理系统中的应用[J]. 办公自动化, 2009(24): 50-52.
- [5] 陈世敏. 大数据分析 with 高速数据更新[J]. 计算机研究与发展, 2015, 52(2): 333-342.
- [6] 王有为, 王伟平, 孟丹. 基于统计方法的 Hive 数据仓库查询优化实现[J]. 计算机研究与发展, 2015, 52(6): 1452-1462.
- [7] 武彤, 谭光伟. 基于索引视图实现动态数据仓库的实时数据加载[J]. 计算机科学, 2016, 49(6A): 493-496.
- [8] 苗晟, 董亮, 何丽波, 等. 基于小型监测站的无线电监测系统构建[J]. 电子测量技术, 2014, 37(5): 132-135.
- [9] 杜远宗, 张金刚, 夏堃, 等. ETL 工具在建设数据仓库中的应用[J]. 中国科技信息, 2005(8): 6.
- [10] 崔忙良, 张文彬. 浅析不明信号的有效标注与排查[J]. 中国无线电, 2005(1): 46-47.